



Escuela
Politécnica
Superior

Avance de la industria de la construcción a través de Virtual Design and Construction



Máster en Gestión de la Edificación

Trabajo Fin de Máster

Autor:

Eduardo Lledó Cano

Tutor:

Juan Carlos Pérez Sánchez



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

1. Justificación y Objetivos

Este trabajo surge gracias a la oportunidad de plasmar en un documento, disponible para su consulta por cualquier persona, las ideas e inquietudes que me han surgido en mis años de experiencia profesional en el ámbito de la construcción. Fruto de mi curiosidad, siempre he disfrutado de visualizar los posibles puntos de mejora en cualquier proceso que encuentro en mi día a día. Desde cuál es la mejor manera de organizar un armario, cómo mejorar el proceso de facturación en un aeropuerto o cuál es el proceso lógico a la hora de preparar la cena en casa. Por suerte, el mundo de la construcción me ha ofrecido infinitas opciones para poner en práctica esta peculiar forma de entretenimiento personal. Además, mi filia por la tecnología siempre ha sido un buen aliado a la hora de buscar posibles respuestas a tales preguntas.

Desde mis primeras experiencias profesionales como técnico de presupuestos en Alicante, empecé a vislumbrar y experimentar en primera persona las necesidades que la industria de la construcción sufría a raíz del atraso tecnológico en comparación con otras industrias y, sobre todo, en términos de gestión de la información en la mayoría de las facetas durante todo el ciclo constructivo.

Fue en Estado Unidos, trabajando con grandes proyectos comerciales en Houston durante mis primeros 5 años, cuando tomé seriamente conciencia de la necesidad de dar pasos hacia la introducción de nuevos métodos y herramientas dentro de la industria de la construcción. Mi decisión de dejar la que entonces era mi compañía en 2018 para redirigir mi perfil profesional me llevó a explorar las distintas opciones y roles profesionales que el mercado laboral de la construcción demandaba y, aún más interesante, el nivel y perfil demandados por ciertas compañías con necesidades muy específicas dentro de la construcción.

De este modo, ya trabajando como *Virtual Design and Construction Manager* (VDC en el resto de este documento), me encuentro ante la oportunidad de avanzar dentro de una compañía en el camino de implantar y desarrollar nuevos métodos y herramientas que posteriormente se puedan extraer sus generalidades y exportarse para su implantación.

La intención de este documento es la de analizar cómo la metodología VDC, que en estos momentos está siendo en elemento emergente con fuerza en Estados Unidos, puede ser el agente catalizador para que la industria de la construcción avance en dicha implantación de métodos y herramientas que ayuden a la modernización y mejora de la productividad. Para ello, se parte de tres bloques principales: un análisis del flujo de la información en los proyectos de construcción¹, un análisis sobre la responsabilidad y necesidades de los distintos agentes respecto al flujo de información anterior, una propuesta mejorada del flujo de información y un estudio del encaje de la figura de los distintos roles de VDC en las distintas fases del proceso constructivo.

Si bien una buena parte del trabajo se fundamenta en el análisis del estado actual de la industria, el mismo se presta a la sugerencia en aquellas partes en las que todavía no se ha profundizado de una manera práctica y se cree necesario para poder realizar un esquema lo más completo posible de la figura a abordar.

¹ Cuando en este documento se habla de “proyecto” de construcción, se pretende hacer alusión a la tarea de construir un edificio de cualquier índole, no al proyecto de diseño que realiza un arquitecto o equipo de diseño.

2. Abstract

The purpose of this document is to analyze how Virtual Design and Construction practice, already used widely in the United States, it could become a key factor for the implementation of new tools and methodologies so it could help to the modernization and improvement of the Spanish construction industry. The document has three main parts: the analysis of the information flow through the construction projects; the analysis of the multiple stakeholders needs and responsibilities and; a proposal for the improvement of information flow including the VDC implementation and the multiple VDC professionals to make it happen.

This document is based on the current construction industry analysis, but it is open to be complemented in the future in the areas are still developing and they will help in the future to make a better picture about the purpose of this document.

3. Agradecimientos:

A mi tutor, Juan Carlos Pérez Sánchez, por su confianza y dedicación.

A mi esposa, Silvia, por su paciencia y comprensión.

A mi hija, Emilia Sofía, por ser mi inspiración y por el tiempo que no le he podido dedicar.

4. Citas

“Si miras cualquier tipo de organización moderna y piensas ‘¿Cuál es el instrumento de poder más potente?’, verás que es la información”.

-Ricardo Semler

“Saber mucho no es lo mismo que ser inteligente. La inteligencia no es sólo información, sino también juicio, la manera en que se recoge y maneja la información”.

-Carl Sagan.

“Muchas veces la gente no sabe lo que quiere hasta que se lo enseñas”.

-Steve Jobs.

5. Índices

5.1. Índice de contenido

1. Justificación y Objetivos	3
2. Abstract.....	5
3. Agradecimientos:.....	6
4. Citas.....	7
5. Índices	8
5.1. Índice de contenido	8
5.2. Índice de figuras	11
6. Introducción	13
6.1. Construcción y fabricación.....	13
6.2. Qué es VDC.....	18
6.3. VDC vs BIM	19
6.4. VDC hoy en día	20
7. Marco teórico	22
8. Objetivos.....	26
9. Metodología	27
10. La información de un proyecto constructivo	28
10.1. Flujo actual incompleto de la información	30
10.2. Fabricantes/Arquitectos e Ingenieros	31
10.3. Fabricantes/Constructoras y Subcontratistas	35
10.4. Arquitecto/Ingeniero.....	36
10.5. Arquitecto/Constructora	37
10.6. Constructora/Subcontratista	38
10.7. Usuario final.....	39

11.	Flujo eficiente de la información	41
11.1.	Dirección y sentido de la información.....	41
11.2.	Relaciones directas de información	42
11.3.	Esquema temporal.....	43
12.	BIM/VDC como vehículos de la información.....	48
12.1.	Diseño y elaboración del proyecto.....	51
12.2.	Preconstrucción	53
12.3.	Construcción	54
12.4.	Uso y manteniendo	55
12.5.	Calidad de la información y nivel de desarrollo (LOD)	55
13.	Planificación para el correcto desarrollo de la información.....	61
13.1.	Fase de diseño.....	62
13.2.	Fase de preconstrucción	64
13.3.	Fase de construcción	64
13.4.	Fase de uso y mantenimiento	65
13.5.	ICE-Integrated Concurrent Engineering.....	66
14.	Necesidades y responsabilidades de los distintos agentes constructivos específicos para un entorno BIM/VDC.....	73
14.1.	Fabricantes.....	73
14.2.	Arquitectos e ingenieros.....	77
14.3.	Constructora.....	79
14.4.	Subcontratista.....	84
14.5.	Usuario final.....	87
14.6.	Lo existente como punto de partida	89
14.6.1.	Digital Twin a gran escala.....	91
15.	VDC como profesional del sector constructivo.....	93

15.1.	VDC como nexo	93
15.2.	Características del profesional VDC	94
15.3.	VDC y la fabricación	96
15.4.	VDC y los arquitectos e ingenieros	97
15.5.	VDC y la constructora.....	98
15.6.	VDC y los subcontratistas	99
15.7.	VDC y la gestión del edificio o infraestructura.....	101
15.8.	Especialista VDC, Director VDC y Coordinador VDC	102
16.	Conclusiones	104
17.	Bibliografía y referencias.....	105

5.2. Índice de figuras

Figura 1. Comparativa producción industria automovilística y construcción (Fuente: autor)	15
Figura 2. Proceso de un proyecto de automoción y construcción (Fuente: autor)	16
Figura 3 Wasserstein Hall edificio y simulación (19)	24
Figura 4 Biblioteca James B. Hunt y modelo (19)	24
Figura 5 Foto del auditorio Walt Disney (22) y escenas de las simulaciones VDC (21)	25
Figura 6. Relación actual de la información entre agentes constructivos (Fuente: autor)	30
Figura 7. Vistas del modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer en formato .rvt (23)	33
Figura 8. Modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer (23)	34
Figura 9. Propiedades del modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer en formato .rvt (23)	34
Figura 10 Flujo de información CDC, BIM y BIM+VDC (Fuente: autor)	38
Figura 11 Información para Usuario Final (Fuente: autor)	40
Figura 12. Sentido y flujo de la información (Fuente: autor)	42
Figura 13. Relaciones de información entre distintos agentes (Fuente: autor)	43
Figura 14. Relaciones de información en las distintas etapas del proceso constructivo (Fuente: autor)	44
Figura 15 Actividades por fase y tipo de información (Fuente: autor)	49
Figura 16 Distribución del total de cada tipo de información por fase (Fuente: autor)	49
Figura 17 Información generada por fase (Fuente: autor)	50
Figura 18 Relación del tipo de información y los agentes constructivos (Fuente: autor)	51
Figura 19 Clasificación Niveles LOD (25)	57
Figura 20 LOD y las dimensiones BIM (25)	58
Figura 21 Aplicación de LOD respecto a las fases de construcción y las necesidades VDC (Fuente: autor)	58
Figura 22 Integración real y óptima de la metodología VDC (Fuente: autor)	61
Figura 23 Comparación en tiempo del trabajo en paralelo (Fuente: autor)	67
Figura 24 Propuesta ICE (Fuente: autor)	68
Figura 25 Programación ICE Fase Diseño (Fuente: autor)	68

Figura 26 Estructura Básica ICE (Fuente: autor).....	69
Figura 27 Estructura ICE Etapa Diseño Conceptual (Fuente: autor)	70
Figura 28 Estructura ICE Etapas Proyecto Básico y Constructivo (Fuente: autor)	70
Figura 29 Estructura ICE Proyecto (Fuente: autor)	71
Figura 30 Estructura ICE Producción, Costes y Seguridad (Fuente: autor).....	71
Figura 31 ICE Implantación	72
Figura 32 ICE Mantenimiento General	72
Figura 33 ICE Intervención Importante	72
Figura 34 Ciclo de la información en modelos BIM sin definir desde fabricación (Fuente: autor).....	74
Figura 35 Ciclo de la información en modelos BIM definidos desde fabricación (Fuente: autor).....	75
Figura 36 Flujo de información VDC/No VDC (Fuente: autor)	85
Figura 37 Recorrido de la información hasta el usuario final (Fuente: autor).....	88
Figura 38 Estructura de la información (Fuente: autor).....	89
Figura 39 Tipos de modelos digitales (28)	90
Figura 40 Fases de implantación Digital Twins en una infraestructura existente (Fuente: autor).....	91
Figura 41 Grados de complejidad e interconectividad (27).....	92
Figura 42 Grado de madurez para la tecnología Digital Twin (29).....	92
Figura 43 Flujo de información a través de un Especialista VDC (Fuente: autor)	95

6. Introducción

6.1. Construcción y fabricación

A pesar de que la industria de la manufactura ha tenido un peso histórico por encima del de la construcción, a partir de la migración masiva a las ciudades a mediados del siglo XIX su peso en el tejido productivo de los países desarrollados ha ido creciendo hasta superar en España el 10% durante la burbuja de la construcción en la segunda mitad de la primera década de los 2000 quedando cerca del 14% del sector industrial (1). En Estados Unidos, con un tejido industrial mayor, el peso de la construcción en 2018 fue del 4% del PIB en comparación con el 11,4% que representa el sector de la manufactura (2). Teniendo estos datos en cuenta, se puede decir que la construcción, como industria, lleva mucho menos tiempo que la manufactura en el tejido productivo y su peso no ha sido tan relevante como para que la innovación y la investigación haya calado de una forma constante y de peso en ella. Sin embargo, la irrupción en las tres últimas décadas de nuevas industrias tecnológicas, como la computación o el análisis de datos, que han alcanzado cotas de impacto en la productividad a nivel global impensables hace treinta o cuarenta años, demuestran que la evolución tecnológica de una industria no depende de su longevidad o su necesidad en la sociedad. Más bien, han sido factores de mercado, es decir, de las fuerzas de demanda de los consumidores, además de otros factores circunstanciales como la globalización, los que han propiciado que las industrias por sí mismas y a través de la competencia hayan propiciado por necesidad la innovación en las industrias en sí mismas.

Volviendo al paralelismo entre construcción e industria (entendiendo esta última como industria de fabricación de bienes que no son construcción), por la similitud de su estructura y de muchos de sus procesos y evidente disparidad entre la productividad entre ambas en detrimento de la construcción (3), se han realizado muchos estudios académicos orientados al intento de implementar técnicas de fabricación industrial en la industria de la construcción con el objetivo de aumentar la productividad. Estudios de implantación de la metodología *Lean Production* (4) (5) de Toyota han llevado a numerosas empresas constructoras a mejorar su productividad de forma individual, pero sin convertirse en una práctica enraizada en la industria de la construcción.

Sin intención de ahondar en las razones por la cuales la industria de la construcción y el resto de las industrias se diferencian lo suficiente en sus procesos como para tener que ser observadas desde puntos diferentes, posiblemente sean tres las características más importantes a tener en cuenta y que serán de ayuda para comprender las dinámicas de ineficiencia en la industria de la construcción. Uno es el tipo de bien de producción. La singularidad de la mayoría de los edificios o infraestructuras a construir, los cuales requieren que muchos de sus componentes se ajusten a cada uno de los proyectos a ejecutar, en comparación con los bienes de producción en masa, restringe en buena medida la estandarización del diseño y los procesos de control de calidad de dichos componentes. Un segundo factor es la localización de la producción. Obviamente, la producción en entornos controlados en inmóviles facilita la inversión en recursos e investigación in situ para la mejora del proceso de fabricación y, posteriormente, se pueden estandarizar y trasladar a otros procesos industriales similares. Sin embargo, la itinerancia de los sucesivos proyectos constructivos y la diferencia entre ambos bienes de producción dificultan tanto la observación y extracción de patrones observables de mejora como su posible implementación en proyectos constructivos posteriores. Por último, la diversidad y la variación de los agentes intervinientes en cada proyecto constructivo sucesivo van en contra de la estabilidad y tiempo de observación necesarios la implementación de métodos de mejora. Partiendo de que los primeros pasos que se dieron hacia la implementación de mejoras en la construcción fue la puesta en marcha de la metodología *Lean Production* de Toyota (6), a través de Figura 1 se pretende ilustrar cómo en una misma línea temporal el modelo de producción de vehículos engloba una mayor homogeneidad en contraposición con los proyectos constructivos. Estas y otras razones, al contrario que en otras industrias, desincentivan la inversión en innovación y desarrollo por parte de la propia industria y, por ende, dificultan la adopción de métodos de mejora de productividad.

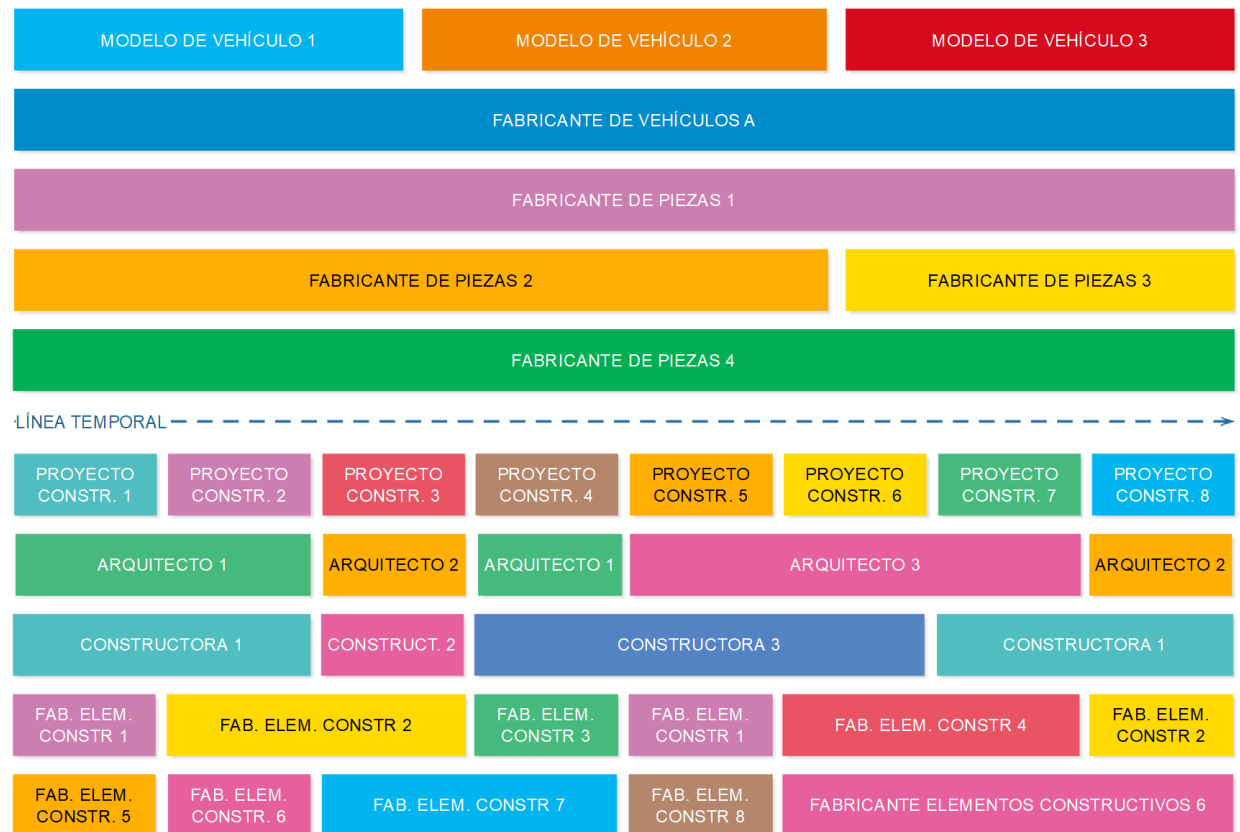


Figura 1. Comparativa producción industria automovilística y construcción (Fuente: autor)

Teniendo en cuenta los factores anteriores, de forma general se puede decir que la construcción adolece de la uniformidad y la cohesión necesaria para que los esfuerzos que en realidad se están haciendo en la mejora de la productividad tengan efecto.

Un fabricante de automóviles, a pesar de saber que su exposición de venta es, al menos, a nivel nacional, sabe que tiene una gran competencia, por ello busca ajustar el coste de su producto a través de, entre otras cosas, el abaratamiento de los costes de adquisición. Para ello, planifica una producción en la cual pueda alcanzar el mejor precio de cada pieza que ordena para ensamblar en sus vehículos y, por ello, hace que la mayoría de las piezas de sus vehículos puedan servir para la mayor parte de los modelos que tiene pensado fabricar. A su vez, muchos de los fabricantes que suministran las piezas al fabricante de vehículos acuerdan con él que, si adapta sus modelos de vehículos a unas piezas diseñadas con unos criterios que también sirven para otros fabricantes de vehículos, puede abaratar aún más el precio. Como se observa en la Figura 2, el proceso de diseño de las piezas por separado y de los modelos de los vehículos se realiza en coordinación permitiendo que, una vez

comienza el proceso de fabricación de piezas y posteriormente el ensamblaje de vehículos no se interrumpa y se logre una mayor eficiencia. Los fabricantes de piezas consideran que, cuanto más se ajusten sus diseños a lo requerido por sus clientes y más problemas consigan solucionar mediante la planificación desde antes de la fabricación, mayor rendimiento y beneficios obtendrá y más probabilidades de trabajar con ese mismo cliente tendrá en el futuro. De este modo, los fabricantes de piezas saben de antemano que van a poder contar con un volumen de fabricación durante un periodo extendido de tiempo en su propia fábrica y conoce de antemano la gran mayoría de las necesidades y los procesos que va a tener que gestionar y, además, su volumen y especialización le permite implementar en desde la planificación observaciones y análisis que le permitan innovar en sus métodos de producción.

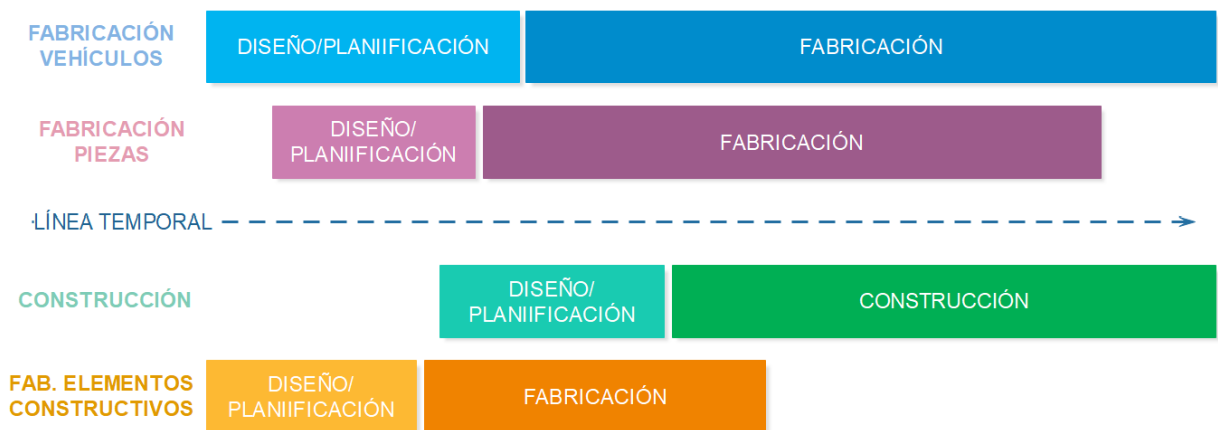


Figura 2. Proceso de un proyecto de automoción y construcción (Fuente: autor)

Por otro lado, las constructoras, aunque pueden ser locales, regionales, nacionales o internacionales, suelen tener una competencia, en la mayoría de los proyectos, a nivel regional o local. Es por ello por lo que muchas constructoras grandes tienen cierta autonomía en sus sedes regionales para poder ajustarse a las características de los clientes a los que dan servicio. Además, saben que, por la singularidad de los métodos de construcción, su fuerte no está competir con los precios de fabricantes, sino más bien en precios sobre la mano de obra de subcontratistas. Comúnmente, los arquitectos redactan los proyectos y acuerdan con los contratistas generales qué fabricantes y modelos de elementos constructivos, como puertas, ventanas, suelos, etc., van a ser instalados en base a un precio y un criterio estético del primero. En este punto, salvo contadas excepciones,

los fabricantes de elementos constructivos ya tienen finalizados e incluso es probable que hayan adelantado la fabricación, por lo que, como se aprecia en la Figura 2, existe un desfase entre las etapas de diseño del proyecto constructivo y los elementos que van a formar parte de este. Por este hecho, en general los fabricantes de elementos constructivos se centran en que sus productos cumplan con un criterio normativo y un criterio estético de ámbito comercial pero, como nadie le asegura que su producto va a tener una salida mercado que justifique una inversión en el momento de diseño, el mismo fabricante no considera la necesidad de una integración a nivel de diseño de las puertas con el modelo del proyecto arquitectónico, la cual permitiría una mayor productividad durante el proceso constructivo como se vio en el capítulo anterior. Además, se debe tener en cuenta que no hay una relación directa entre el equipo de diseño del proyecto y de los elementos constructivos por que, cuando el proyecto ya está redactado, el contratista se dirige a los subcontratistas para licitar la construcción y son estos últimos los que buscan en el fabricante que este le ofrezca el producto a un precio que pueda ser competitivo y sea servido en tiempo y forma, siendo estos dos requisitos los que el fabricante presta más atención y no la necesidad de que haya una cohesión entre el proyecto constructivo y sus elementos para ayudar en la gestión y planificación. De este modo, una vez adjudicada la obra y los fabricantes saben, a través de los subcontratistas, que van a colocar sus productos en este proyecto en particular, los fabricantes no tienen seguridad alguna de si el contratista al que surte de su producto va a volver a ordenarle más material porque es posible que su próximo trabajo sea con otro contratista principal que prefiere otros subcontratistas. Es más, es posible que, aunque contratista y subcontratista trabajen de nuevo juntos, el arquitecto del siguiente proyecto decida un nuevo fabricante de puertas. Llegados a este punto, se puede concluir que, por un lado la falta de cohesión entre el diseño del proyecto y el diseño de los elementos constructivos y por otro lado la falta de consistencia en las relaciones comerciales entre los distintos agentes como son arquitectos-constructoras-subcontratistas-fabricantes unido a la singularidad de cada proyecto constructivo en la que todos ellos se ven envueltos desincentivan la inversión y dificultan la adopción de medidas que permitan una mayor productividad.

6.2. Qué es VDC

VDC, es un acrónimo del inglés *Virtual Design and Construction* acuñado por el CIFE (*Center for Integrated Facility Engineering*) de la universidad de Standford, el cual lo ha estado desarrollando mediante investigación desde la última década del siglo XX. Su definición original es el del uso de modelos de representación de multidisciplinares en proyectos de diseño/construcción, incluyendo el producto, los procesos y la organización de los equipos de diseño, construcción y gestión para respaldar los objetivos del negocio en cuestión (7). Se refiere a una disciplina, dentro de la industria de la construcción, abarcando cualquier tipología de esta, que se fundamenta en el uso de la tecnología para la creación y gestión de la información asociada a modelos BIM. Con el uso de estos modelos con información adecuada se pretende ayudar a la descripción, explicación, evaluación, predicción, formulación de alternativas, negociación y toma decisiones sobre los objetivos del proyecto (6) con el objetivo de aumentar la productividad en cualquier fase de la construcción, bien sea desde la fabricación de productos destinados a la construcción, pasando por el análisis de proyectos antes de su ejecución, la ejecución de los mismos y finalizando con el mantenimiento durante su vida útil de cualquier edificio.

En términos prácticos, se trata básicamente de gestionar distintas etapas de la construcción (fabricación, diseño, mediciones, fase de presupuestos, ejecución, seguimiento de las medidas de seguridad y salud, certificaciones, etcétera) por medio de un sistema (VDC) que aporta mucha más información, más manejable, más visible y mucho más accesible, incluso en tiempo real. Para ello, es necesario que los distintos intervinientes en un proyecto que se va a gestionar a través de VDC se sumen, en mayor o menor grado, a este tipo de gestión. Lo que se pretende en última instancia cuando se implementa la metodología VDC es que sea el modelo BIM del edificio o proyecto constructivo el “documento” fundamental, si no el único, que se deba usar para llevar a cabo el diseño, la construcción y el mantenimiento y/o gestión de este. Sería deseable en última instancia que fuera este modelo BIM el documento de “contrato” por el cual los distintos agentes constructivos ratifican su compromiso de llevar a cabo la construcción.

Es importante reseñar dos características. La primera es que la puesta en práctica del VDC lleva intrínsecamente la implantación y uso de nuevas tecnologías. Esto es así porque su

naturaleza es la búsqueda de la maximización de la productividad, por lo que no se puede concebir la una sin la otra. Es decir, no se puede buscar la máxima productividad de un proceso obviando las herramientas tecnológicas que permitan alcanzarla.

La segunda, aunque parezca que desautoriza en parte la primera, es que para la implementación de un sistema VDC es necesario partir de un estudio y planificación teórica de las necesidades y características del proceso en el que se va a implantar. Esto es así porque dicha implantación va a conllevar la gestión de mucha información de muchas fuentes distintas y la gestión de muchos procesos de una nueva manera, por lo que se hace necesario un estudio previo de todo ello para una transición correcta.

6.3. VDC vs BIM

BIM (*Building Information Modeling*) es actualmente un término muy popular y conocido dentro de la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Autodesk, a través de su programa Revit, ha liderado en gran medida la implantación de BIM durante las últimas dos décadas. Según su página web, ellos consideran que BIM es un proceso que comienza con la creación de un modelo 3D inteligente y permite la gestión de documentos, coordinación y simulación durante el completo ciclo de vida de un proyecto (planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento). La misma compañía remite que el uso específico de BIM es el diseñar y documentar los diseños de edificios e infraestructuras. Cada metal de un edificio es modelado en BIM. El modelo puede ser usado para el análisis con el fin de explorar opciones de diseño y crear visualizaciones que ayudan a los agentes interesados a entender cómo será el edificio antes de que se construya. El modelo es usado posteriormente para generar los documentos de diseño para la construcción (8).

Como se puede observar, BIM es una metodología para la generación de modelos 3D con un componente intrínseco de datos inherentes en la fase de diseño. La palabra clave aquí, como dice en su definición, es que permite la gestión de documentos, etc. Es decir, BIM es la forma y el método en el que el diseño es creado.

La industria de la construcción, a través de la implantación BIM, ha ido avanzando tecnológicamente en esta primera etapa de diseño de los proyectos constructivos. Es un avance obligado a ser anterior, ya que, sin las óptimas herramientas para una correcta

definición del proyecto, un formato adecuado y un nivel de detalle óptimo, no sería posible el avance en la gestión de la construcción. A pesar de ello, este primer gran avance quedó casi exclusivamente circunscrito a la esta primera etapa de diseño y prácticamente no influyó en el avance tecnológico en las siguientes fases de gestión de la construcción y la gestión y mantenimiento de construcciones.

Es justamente en este punto en el que VDC entra en juego. Cuando se realiza el diseño de edificio o infraestructura a través de un modelo BIM se pueden utilizar sobre este mismo metodologías VDC que permitan ser más productivos en las siguientes fases posteriores al diseño que antes mencionadas. Si bien ambos BIM y VDC pueden considerarse metodologías, a su vez BIM también es algo “físico”, un modelo 3D con un alto nivel de detalle. Sin embargo, VDC no tiene un objetivo tan definido, si no que más bien es, a través de una metodología y partiendo de una fuente, el modelo BIM, la consecución de distintas prácticas que ayudan a aumentar la productividad posterior al diseño.

En los foros y comunidades web en las que profesionales de la arquitectura, ingeniería y construcción preguntan sobre cuáles son las diferencias entre BIM y VDC se ha extendido un par de explicaciones simples, pero a la vez prácticas para intentar dar una respuesta. La primera, más escueta, responde que BIM es un nombre, mientras que VDC es un verbo, es decir, lo primero es una definición mientras que lo segundo es una acción o, mejor dicho, un conjunto de acciones (9) (10). En palabras más apegadas a la construcción, BIM es un modelo y VDC es la gestión de ese modelo. La segunda, más gráfica, propone un catálogo de un mueble de la conocida empresa internacional fabricante de muebles IKEA (11). Según esta definición, BIM sería la primera página donde se pueden ver todas las piezas numeradas por separado, definiendo bien todos los componentes necesarios, mientras que VDC serían el resto de las páginas las cuales documentan la forma en la cual se debe montar dicho mueble.

6.4. *VDC hoy en día*

Como cualquier tecnología con un grado de disrupción, VDC comienza por ser observado de una manera muy esporádica y difusa que puede llevar a malinterpretación y, posteriormente, uno se puede encontrar repentinamente con la necesidad de acelerar para adaptar su forma de trabajar casi por completo de la noche a la mañana para poder seguir

siendo competitivo o, simplemente, para sobrevivir. No cabe duda de que, actualmente, eso está a la orden del día más que nunca.

En la mayoría de los casos, la metodología VDC, se va abriendo camino por distintas pequeñas brechas dentro de las compañías que, afortunadamente, comienzan a realizar pasos en su implantación, muchas veces casi sin saberlo. Quizá suceda que un técnico de una constructora decide por su cuenta comenzar a usar los modelos BIM de proyecto para analizar con más exactitud y rapidez la implantación de la seguridad en la construcción o se decide realizar una visita en el modelo 3D con el inversor del proyecto para que pueda decidir sobre aspectos que pueden impactar en modelo productivo que quiere desarrollar en el futuro edificio construido. Ambos son ejemplos por separado de lo que VDC intenta que se gestione de un modo uniforme y que ese método pueda ser analizado y mejorado.

Obviamente, las empresas con grandes recursos y que ofrecen servicios a nivel nacional e internacional suelen tener a su disposición mayores recursos para poder realizar este paso de una forma más tranquila y con más antelación, pero bien es verdad que hay otras muchas empresas más pequeñas que ven en este cambio una manera de adelantarse a lo que el futuro depara y posicionarse adelante cuando los cambios en la industria ya sean un hecho.

También existen muchos profesionales liberales que, tras su paso por la industria de la construcción o la arquitectura, se dan cuenta de que la necesidad futura de los servicios VDC van a crear un nicho de mercado para implementar las herramientas y ofrecer asesoramiento necesario.

De la misma manera, ya existen universidades e institutos técnicos que han implantado en sus currículos asignaturas y especializaciones en este sentido, más allá de la impartición del uso de herramientas específicas.

Virtual Design and Construction CEE341	Stanford School of Engineering (12)
BS in Virtual Design and Construction	Department of Design and Construction Management - Idaho, Brigham Young University (13)
VDC-Certificate Programme Norway NTNU BA6280	Faculty of Engineering - Norwegian University of Science and Technology (14)
VDC AND THE DIGITAL DOMAIN IN CONSTRUCTION A4675	Graduate School of Architecture, Planning and Preservation - Columbia University (15)

Tabla 1 Universidades con estudios de VDC (Fuente: autor)

7. Marco teórico

Como se ha mencionado en el apartado 6 de introducción, el CIFE de la Universidad de Stanford en Estados Unidos, fue pionero en desarrollar estudios enfocados al desarrollo de la metodología VDC desde 2001. Los distintos indicadores gubernamentales que observaron les hicieron llegar a la conclusión de que la mayoría de las industrias seguían una progresión al alza en la productividad de los últimos 30 años exceptuando la industria de la construcción, la cual, si bien no crecía en productividad, más bien declinaba. Un factor diferencial para estas dos distintas tendencias fue la aplicación de los principios de producción Lean introducidos por la fabricante de automóviles Toyota y que se fueron exportando a los distintos tipos de industrias. Basándose en referencias anteriores, consiguen aglutinar muchas de las propuestas de mejora que hasta ese momento se habían sacado a la luz y establecer un criterio unificado, tanto del problema como del camino que se debe seguir para avanzar en el objetivo de mejorar la productividad en la construcción (6). A partir de ese momento, VDC se iba a convertir en un término de referencia para tener en cuenta para cualquier actor dentro de la industria que quisiera aportar en este sentido.

En 2009, en Tokio, Japón, se celebró la quinta mesa redonda a nivel del continente asiático (*Asia Construction Information Technology (IT) Round Table Meeting*) sobre las tecnologías de la información y se albergó una sesión especial sobre construcción virtual (*Special Session on Virtual Construction*). En un artículo lo resume (16), se plantean las circunstancias por las que la implantación de la construcción virtual, o VDC, en el ámbito de las infraestructuras públicas adolecía de un retraso respecto a su implantación en construcción privada. Además de argumentar que parte de este retraso se debía a razones del tipo de licitación, la complejidad de los proyectos y la rigidez de la normativa, exponen ciertos puntos de mejora que caracterizan en cierto modo lo que hoy en día ya se encuentra en funcionamiento a nivel global como son la educación en distintas nuevas metodologías, la estandarización de los procesos y componentes constructivos a través de la colaboración entre universidades, organizaciones internacionales, centros de investigación y compañías o la necesidad de nuevos perfiles técnicos como el gestor de información de construcción virtual (*VC information manager*).

Otro trabajo, también desde el CIFE (17) en 2012, parte de la idea de realizar un cambio en el paradigma del uso de planos y documentos en papel físico al uso de modelos virtuales en proyectores durante las reuniones de coordinación en la construcción. Describe cómo la metodología BIM, aunque indudablemente necesaria, resulta insuficiente para realizar una gestión integral durante el proceso constructivo. Con ello, ahonda en la metodología de implantación con casos prácticos y circunscribe la solución a cuatro aspectos fundamentales: a la elaboración de tipos de gestión respecto al producto, al proceso y a la organización, entendiendo esta última como el conjunto de agentes que interactúan para llevar a cabo el proyecto de construcción; a la elaboración de métodos de análisis basados en un modelo BIM; en una gestión tipo empresarial que permita la medición del desarrollo y; el análisis del impacto económico de las decisiones adoptadas.

En 2015, durante unas conferencias del *2015 International Workshop on Computing in Civil Engineering* en Austin (Texas), los profesores David K. H. Chua y Justin K. W. Yeoh del departamento de ingeniería civil y medioambiental de la universidad de Singapur ya expusieron (18) la necesidad de, apoyándose en la ya asentada metodología BIM como la columna vertebral, se fuera más allá y se considerara VDC como una metodología que, en el ámbito de la gestión constructiva, se considerara la pieza angular de todo el proceso.

Por otro lado, desde antes de 2010, caben destacar los esfuerzos por parte del sector privado encaminados a implementar en sus propias organizaciones metodologías VDC que permitieran el aumento de la productividad y sirvieran como campo de pruebas.

Skanska, una constructora de origen sueco, pero con presencia internacional, desarrolló varios proyectos que merecen la pena mencionar (19). En 2006, en el proyecto *Wasserstein Hall, Caspersen Student Center, Clinical Wing Project, Harvard Law School*, iniciaron de motu propio y sufragado por ellos mismos la generación BIM de la mitad del edificio a partir de los planos 2D cuando la tecnología BIM era todavía muy incipiente. La universidad de Harvard, al ver el resultado del modelo BIM y las ventajas que ofrecía, decidió sufragar, tanto la mitad del edificio ya modelada como el resto. Gracias a esta iniciativa, mediante métodos VDC, se realizaron simulaciones y análisis que permitieron la reducción de costes de producción y la solución previa de inconsistencias entre distintos elementos. Además, ayudó a la universidad a visualizar elementos de diseño no apreciables en los planos 2D.

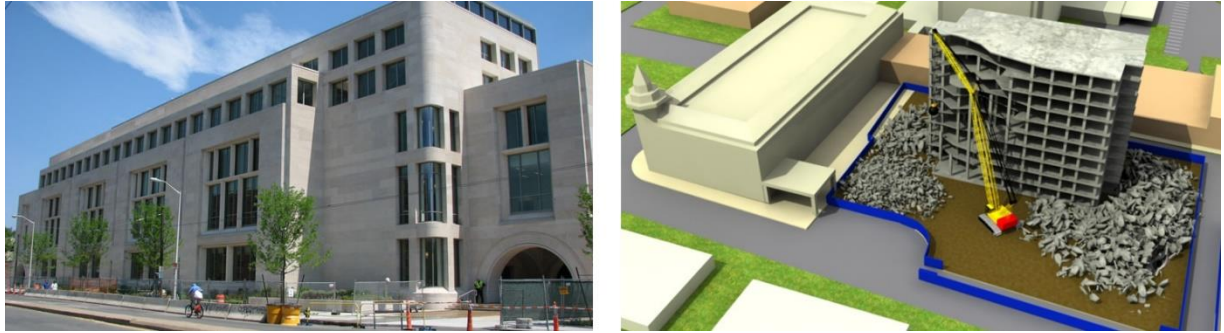


Figura 3 Wasserstein Hall edificio y simulación (19)

En 2012, para la biblioteca *James B. Hunt* de la universidad de Carolina del Norte, Skanska decidió que por la complejidad de la fachada de muro cortina, todos los paneles a instalar iba a llevar incorporados un código de barras, de manera que cada panel pudiera ser monitorizado desde la planificación de su fabricación hasta su instalación en obra. De ese modo, desde el modelo BIM, se podía hacer un seguimiento exhaustivo y en tiempo real sobre su estado y realizan una minuciosa labor de planificación.

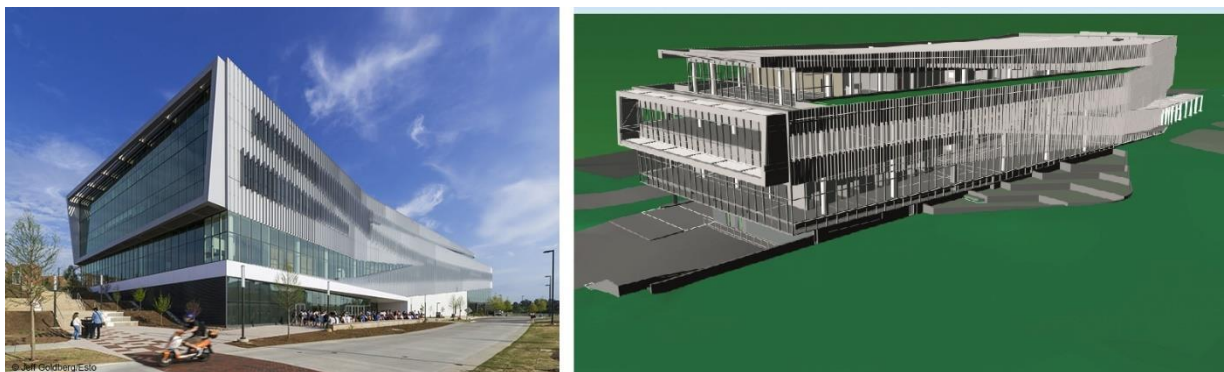


Figura 4 Biblioteca James B. Hunt y modelo (19)

Gilbane, constructora estadounidense de ámbito nacional, incorpora a su modelo de negocio servicios VDC externalizados, por lo que lleva esta metodología, además de a métodos más comunes, como el *Clash Detection* o simulaciones 4D, a caminos más innovadores como la integración con realidad virtual o la digitalización de espacios (o *Reality Capture*) (20).

Mortenson (21), otra constructora estadounidense de ámbito nacional, inspirada en las nuevas tecnologías 3D, creó en 1995 un centro para la innovación de la construcción (*Center for Construction Innovation*). En 1998, trabajaron junto a la Universidad de Stanford y el

departamento de ingeniería visual de Disney, introduciendo metodologías VDC para la construcción del auditorio Walt Disney en Los Ángeles.

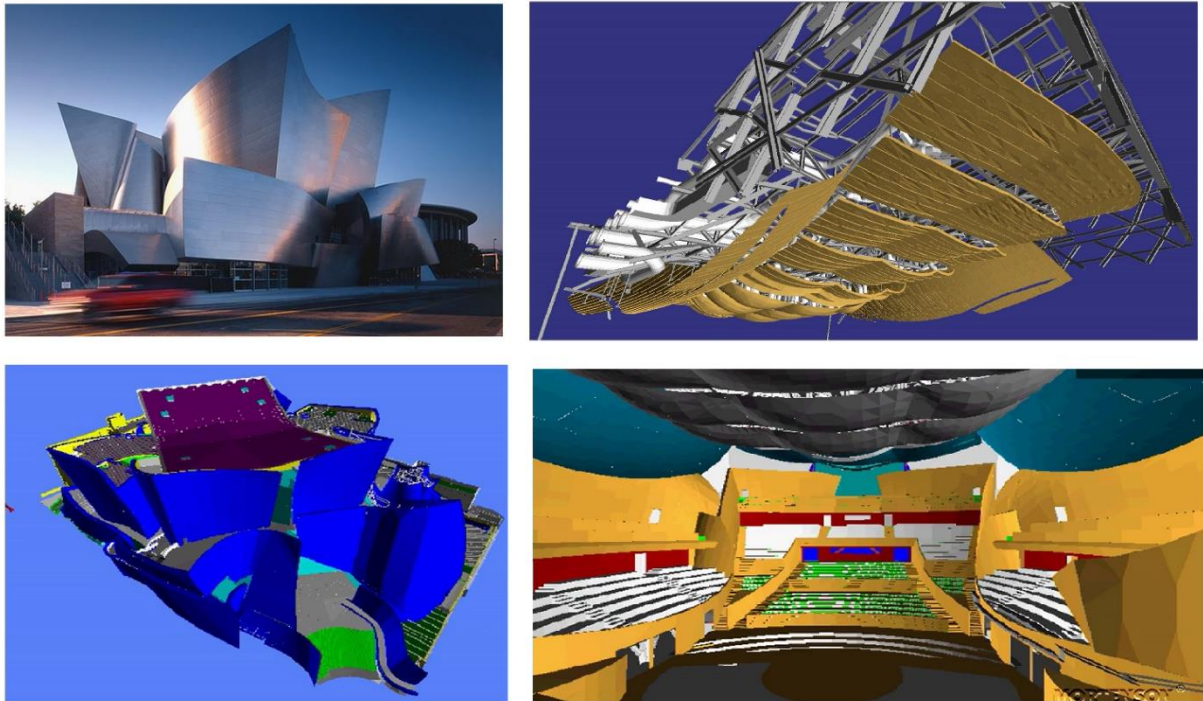


Figura 5 Foto del auditorio Walt Disney (22) y escenas de las simulaciones VDC (21)

En 2001, con la irrupción del *Clash Detection*, la compañía promocionó el desarrollo de esta tecnología a todos los equipos de ingeniería de todo Estados Unidos hasta que en 2004 se adoptó VDC como una metodología para la comunicación y colaboración entre los distintos equipos y para la interacción con los inversionistas en el proyecto. Además, en años siguientes adoptaron medidas para implementar procedimientos y medios físicos, como tabletas electrónicas y estaciones de trabajo tecnológicamente preparadas, desde lado humano, que apuntalaran todo el despliegue técnico desarrollado. A inicios de la segunda década de los 2000, VDC se había convertido en su forma de hacer negocio y la parte central de su forma de construir. Además, ampliaron esta metodología a otros ámbitos fuera de la construcción. de edificios como las energías renovables y la construcción horizontal. Actualmente se encuentran inmersos en la implementación de realidad virtual y realidad aumentada y, para futuro, sus líneas se amplían a campos como la prefabricación y modulación, la impresión 3D o la robotización y automatización.

8. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el de ofrecer una visión práctica sobre cómo las metodologías VDC son una herramienta fundamental para la gestión de la información durante la producción de un proyecto constructivo y, por ello, ofrecen una oportunidad a la industria de la construcción para mejorar los procesos que lleven consigo un incremento de la productividad del sector.

Bajo este objetivo principal, primero se pretende realizar un análisis sobre el estado actual de la gestión de la información de un proyecto constructivo desde la perspectiva de los principales agentes intervinientes y sus relaciones, que sirva como base del trabajo. Como segundo objetivo secundario se propone el desarrollo de un flujo de eficiente de la información que permita una cohesión de las relaciones entre los distintos agentes constructivos. Un tercer objetivo es el de presentar la metodología VDC como una herramienta exitosa para la gestión del flujo de información en la construcción además de enfocarse en las necesidades y responsabilidades particulares de los agentes constructivos. Por último, se pretende realizar un análisis de los distintos perfiles profesionales que la implantación de la metodología VDC ofrece tanto desde una perspectiva de especialización como desde su rol como agente constructivo.

En resumen, se intenta ofrecer una perspectiva práctica sobre cómo es la metodología VDC, cuáles son sus ventajas en cada una de las principales fases de y para cada uno de los principales intervinientes en la industria de la construcción, cuáles son los desafíos que se encontrarán durante la implantación de esta nueva metodología respecto a la actual condición de la industria y, con todo ello, describir los principales roles profesionales que esta metodología está haciendo surgir dentro del mercado laboral.

9. Metodología

Para la elaboración de este trabajo, ha sido recurrente la búsqueda tanto de planteamientos teóricos como de casos prácticos en los que la metodología VDC o herramientas complementarias han sido la piedra angular para la transformación en algún proyecto específico o han sido un marco de referencia para la transformación de departamentos o grupos de trabajo dentro de una estructura empresarial. El contenido de seminarios específicos y casos empíricos que empresas han acometido en la industria de la construcción ha sido de gran ayuda para poder contextualizar mucha de la referencia a trabajos académicos más teóricos que, por su naturaleza, tienen una mayor dificultad para su plasmación en un ejemplo práctico.

Con todo el material recogido y parte de la experiencia práctica del autor con casi un lustro de trabajo con herramientas y formatos VDC, se ha querido realizar una visualización del estado de la construcción, un análisis de los problemas y dificultades en lo que a la información se refiere, identificando los casos generales más importantes, realizando una teorización sobre una mejora en el flujo de la información mediante VDC y, por último, realizando un análisis más práctico y pormenorizado de dichas mejoras.

Cabe destacar que, en la medida de lo posible, se ha intentado no hacer referencia a programas informáticos o herramientas específicas por dos razones. La primera por tener este trabajo una vocación más general sobre la metodología VDC, que se puede aplicar a niveles tanto macro como micro y por ello, hacer referencias específicas a las funcionalidades de estas llevarían a hacer de este trabajo a poco menos que un manual de usuario y no sería de gran utilidad. Una segunda razón, a la sazón más importante, es la de evitar ceñir cualquier función o rol profesional al uso de una herramienta específica o programa ya que, a opinión del autor, la falta de conocimiento sobre la implantación de VDC aboca a que se vinculen ambas con demasiada facilidad llevando a equívoco.

10. La información de un proyecto constructivo

No es típico observar el concepto de información como un elemento común y de enlace entre todos los agentes y elementos de un proyecto de construcción (arquitectos, contratistas, documentos, contratos, planos, modelos, etc.). Debido a la fragmentación del proceso constructivo y normalmente se tiende a ver simplemente parcelas dentro del proceso constructivo, situaciones o relaciones concretas a las cuales se les presupone un acotado volumen y flujo de información a los cuales se intenta introducir herramientas o metodologías que hagan posible la mejora en el trabajo y la organización de dicha información. Sobre esto existen muchos ejemplos, como son las nuevas herramientas de colaboración de documentos en la nube de internet, los programas informáticos para el diseño colaborativo en un mismo modelo o programas web para la gestión y seguimiento del proceso constructivo.

De este modo, es normal que la información que se genera en un determinado momento tenga un formato distinto al que los distintos intervinientes que posteriormente tengan que hacer uso de esa información y, por tanto, se tenga que volcar toda esa información al formato de trabajo que necesitan con el consecuente tiempo y esfuerzo adicional además de la posible generación de errores en dicha información.

Partiendo del ejemplo de un diagrama de Gantt de flujo de trabajo que se genera a través de un programa informático para el uso del contratista general como pudiera ser Primavera P6. Un subcontratista se puede encontrar en la situación de que, afortunadamente, tal diagrama lo puede exportar a una tabla Excel para su uso en un primer momento. Hasta aquí se puede pensar que es un inconveniente salvable. Sin embargo, la información es cambiante, de modo que el subcontratista se ve abocado a que la información actualizada se le presente del mismo formato, tenga que transformarla y actualizar su propia información. Si se multiplica esto n número de veces, el resultado es un flujo de la información a todas luces improductivo y con un potencial de consecución de errores de grandes dimensiones.

Otro ejemplo muy improductivo es el procedimiento de generación de presupuestos. Actualmente, para la consecución de un presupuesto, se crean durante el diseño distintas etapas del proyecto en el que se generan un conjunto de planos y documentos con el objetivo de ir adelantando, entre otras cosas, los presupuestos económicos para obtener un precio que se vaya acercando lo máximo posible al precio final conforme el proyecto de diseño va cada vez más definido. En cada etapa, si bien se van añadiendo más documentos, se van sobrescribiendo documentos previos, los cuales los responsables tienen que comparar con los documentos anteriores para poder diferenciar los cambios y ajustar el presupuesto. En este caso, si el soporte es, por ejemplo, planos y documentos en papel, la actualización del presupuesto casi va abocada a tener que realizar una nueva medición y revisión de documentos. Afortunadamente, los planos digitales tienen ventajas que permiten usar herramientas para comparar planos de distintas etapas de una forma mucho más ágil, pero, aun así, es un trabajo muy laborioso y no exento de errores.

Teniendo lo anterior en cuenta, si se considera que una línea de información necesaria es la de creación de mediciones y presupuestos, se pueden preparar los documentos del proyecto en el formato adecuado para que el flujo de información sea lo más consistente y sin fisuras por parte de los agentes que tengan que hacer uso de los mismos, de modo que se pueda reducir el tiempo invertido y los errores cometidos generando de este modo una mayor productividad.

Siguiendo el ejemplo anterior, si se obtuviera el proyecto en un formato BIM en lugar de trabajar con planos, en el cual se pudiera hacer nuestras mediciones y de ahí realizar nuestro presupuesto, se puede realizar una actualización del modelo en el cual la gran mayoría de nuestras mediciones se actualizarían automáticamente y sólo quedaría realizar una labor de comprobación de si se han sustraído o añadido nuevos elementos. Una gran ventaja sería que no haría falta movernos por una cantidad ingente de planos para realizar dicha comprobación, si no que únicamente moviéndonos por el modelo 3D sería más que suficiente para poder hacer casi toda nuestra labor. Esto se desarrollará con más detalle más adelante.

10.1. Flujo actual incompleto de la información

En la Figura 6 se puede observar una estructura básica de los principales agentes constructivos y las relaciones más importantes, en lo que la información se refiere, que entre ellos se genera a la hora de acometer una construcción.

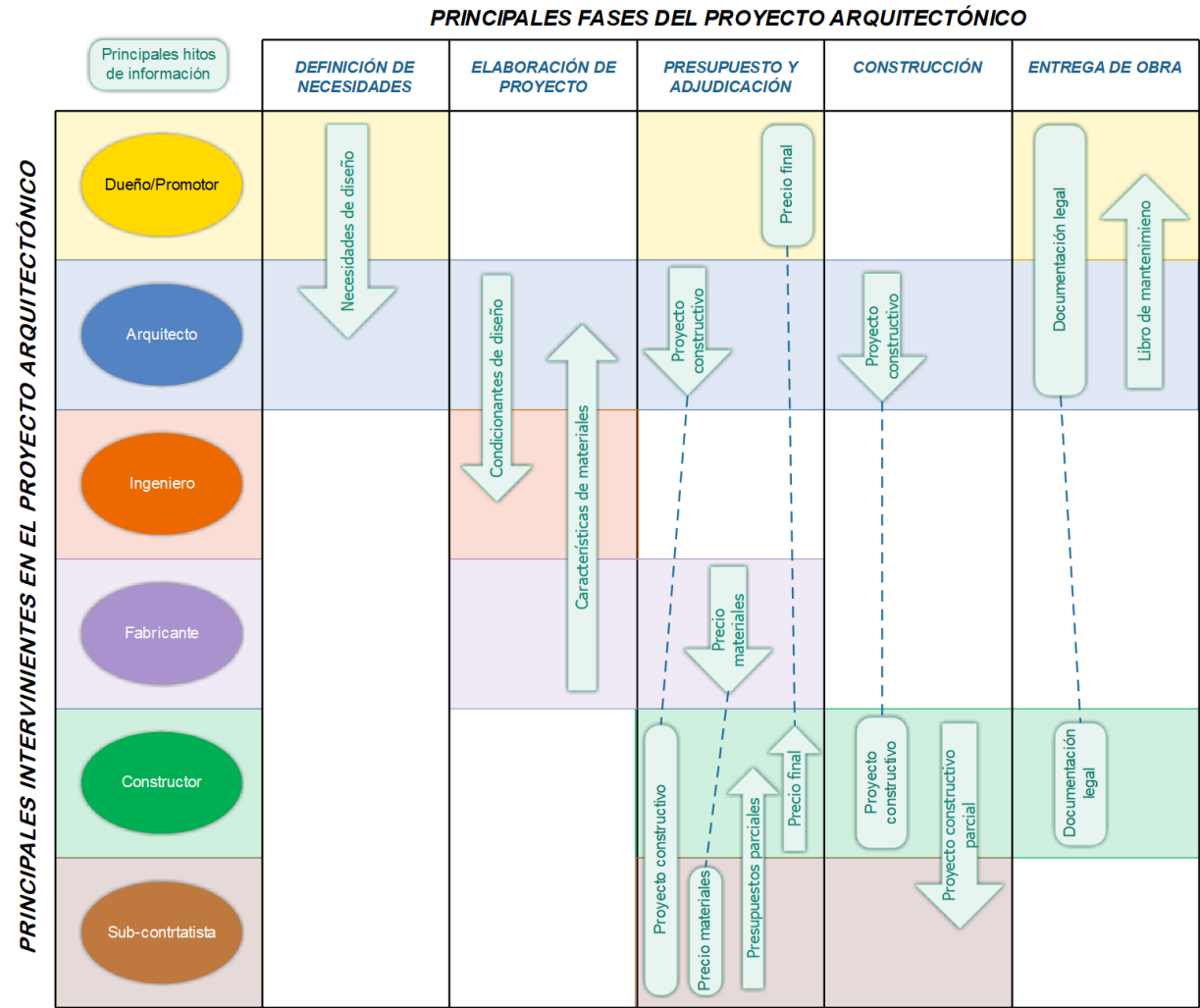


Figura 6. Relación actual de la información entre agentes constructivos (Fuente: autor)

Como se puede apreciar, el proceso de un proyecto se convierte casi en su totalidad en un proceso que va cumpliendo hitos temporales con actores que se mueven casi exclusivamente en unas etapas determinadas. La información sigue un flujo como un río, se genera en un punto y va de forma directa e invariablemente hacia otro en un único sentido. En este contexto, se puede decir que la información simplemente es generada (empujada) desde el que la genera hacia el que la recibe. Es decir, la motivación que genera la información proviene del emisor, no del receptor, por lo que lo más probable es que el

formato y contenido sea prácticamente condicionado por el primero, sin tener demasiado en cuenta las necesidades del segundo.

Todo esto lleva a un escenario en el cual la rigidez en traspaso de la información genera una gran cantidad de ineficiencias en todo el proceso constructivo que tienen un impacto negativo muy importante en la productividad de todos los agentes intervinientes. A continuación, se verá más en detalle mediante ejemplos las principales relaciones de información entre los agentes mencionados anteriormente y el estado de estas respecto a la implantación de la metodología BIM/VDC.

10.2. Fabricantes/Arquitectos e Ingenieros

La relación entre fabricantes y arquitectos/ingenieros responde tradicional y mayormente a la necesidad de los responsables de diseño en proveer al usuario final de los elementos y materiales que se adecúen a las necesidades que este les requiere. Básicamente, la información que provee el fabricante suele cubrir los parámetros estéticos para su elección y los parámetros técnicos que les son exigibles por la normativa aplicable. De este modo, es común que los fabricantes se apoyen tradicionalmente en formatos como documentos, tanto digitales como físicos, que incluyen literatura comercial e ilustraciones para facilitar la labor de elección por parte de los arquitectos. Se pueden incluir ejemplos como los fabricantes de baldosas cerámicas, lámparas, mobiliario y distintos tipos con una carga importante de elección estética.

Si se consideran los materiales o elementos de un bajo impacto estético en el diseño, la aportación de información se suscribe básicamente a catálogos que normalmente sirven tanto técnica como comercialmente ya que, con alta probabilidad, sean elementos que vayan a tener una función básicamente constructiva y se deje a elección del contratista o subcontratista. Esto es típico en la mayoría de los elementos constructivos como por ejemplo cementos, armados, pinturas, ladrillos, molduras, tejados, etc. En este caso, esta información está casi totalmente dirigida a contratistas y subcontratistas.

En el mejor de los casos, se pueden encontrar objetos BIM que los arquitectos demandan para la consecución de los proyectos arquitectónicos. Estos suelen incluir información básicamente comercial y ciertos parámetros que permiten la selección de unos productos u

otros. Los fabricantes suelen incluir profusa información sobre otros productos o sobre la compañía (página web, vídeos online, enlaces a catálogos, etc.) que sugieren una labor centrada en las ventas más que en el objetivo de facilitar a los potenciales compradores la instalación, manipulación y uso de estos productos.

Desde este escenario, respecto a esta relación de información, se pueden extraer varias conclusiones. Una es que, para la mayoría de los materiales y elementos que contiene un proyecto, los arquitectos e ingenieros no disponen de información en un formato y una calidad óptima. Otra conclusión es que, para los elementos en los cuales sí que existe un formato BIM por parte del fabricante, en la gran mayoría su función se circunscribe a la labor comercial y a una parcial colaboración para el desarrollo del modelo BIM del proyecto por parte del arquitecto y/o ingeniero, pero en ningún caso, para cualquier otro interviniente posterior a la elaboración del proyecto como el contratista principal.

A modo de ejemplo, se quiere hacer referencia a un modelo del fabricante de muros pantalla Kawneer, en concreto al modelo *1630 SS IR Curtain Wall System*, para observar qué información el fabricante aporta en sus modelos BIM. Como se observa en la Figura 7 (23), el nivel de detalle del modelo se compone de una geometría de extrusión del perfil que se amolda a la malla del muro cortina de nuestro proyecto. Esta es una forma básica de trabajar, la cual permite únicamente hacer una representación gráfica del volumen de nuestro muro cortina. El fabricante aporta también en el modelo, el detalle de sección en el cual se puede observar que, con una superposición de un dibujo en CAD, simula la composición interior, en este caso la sección horizontal. De esta forma, sólo se es capaz de aportar información gráfica para “simular” todos los componentes de un sistema, por lo cual, no se puede confiar en poder tener una herramienta fiable en estos modelos a la hora de poder realizar mediciones, análisis u otras tareas futuras.

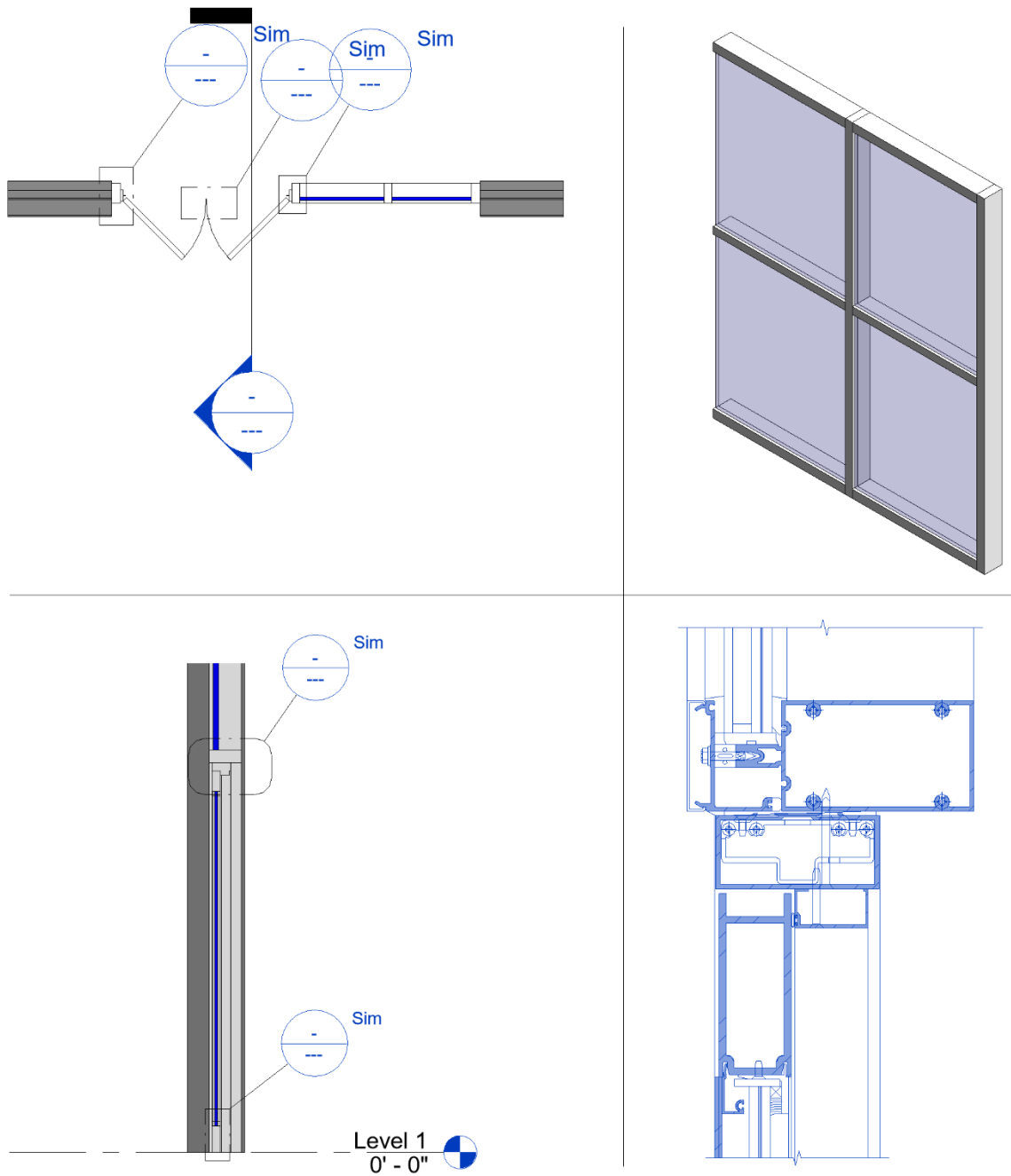


Figura 7. Vistas del modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer en formato .rot (23).



Figura 8. Modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer (23).

Type Properties

Family: Rectangular Mullion

Type: Kawneer-1630_SS_IR-Vertical-Dry-7 13/16"x3"

Load... Duplicate... Rename...

Type Parameters

Parameter	Value
Constraints	
Angle	0.00°
Offset	0' 0"
Construction	
Profile	Mullion-Kawneer-1630SSIR-Interior-2D : 7 13/16"x3" - 1 5/16" Infill
Position	Perpendicular to Face
Corner Mullion	<input type="checkbox"/>
Thickness	0' 7 13/16"
Materials and Finishes	
Material	Metal - Kawneer - Aluminum
Dimensions	
Width on side 2	0' 1 1/2"
Width on side 1	0' 1 1/2"
Identity Data	
Type Image	
Keynote	
Model	1630 SS IR
Manufacturer	Kawneer
Type Comments	7 13/16"x3" Vertical - Dry
URL	http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/home.asp
Description	Mullion - Dry Glazed / No Steel Reinforcement
Assembly Code	B2020210
Cost	
Assembly Description	Curtain Walls - Framing
Type Mark	
Copyright ©	©2013 Kawneer
Product Documentation Link	http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product_related_doc.a
Product Page URL	http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product.asp?cat_id=13
OmniClass Number	
OmniClass Title	
Code Name	

[What do these properties do?](#)

Figura 9. Propiedades del modelo BIM del Sistema 1630 SS IR Curtain Wall System de Kawneer en formato .rvt (23).

Respecto a la información paramétrica del modelo que se puede ver en la Figura 9, además de los parámetros dedicados a la configuración del modelo para su diseño, el resto no aporta prácticamente información útil ni para arquitectos ni para ingenieros. Se debe tener

en cuenta que en el proceso de diseño es muy útil disponer desde el primer momento de información como el comportamiento mecánico del perfil (resistencias a flexión, compresión, etc.), comportamiento térmico (conductividad, radiación, etc.), dimensiones máximas y mínimas de las piezas, acabados, opciones de diseño, compatibilidad con otros sistemas, información de ensamblaje, cumplimientos de normativa etc.

Obviamente, esta información será suministrada por el fabricante por otras vías, pero es este punto el que realmente importa, que la información no esté desvinculada del modelo BIM, para que esta sea accesible fácilmente, agilizando el trabajo y maximizando la producción.

Esta forma de proceder es la imperante actualmente, ya que, desde la irrupción de los modelos BIM para la generación de proyectos de construcción, su finalidad se ha basado casi exclusivamente en la generación de los documentos de proyecto del mismo modo tradicional, es decir, en formato de planos y documentos de texto para su uso en ejecución. Con la irrupción de la metodología VDC, es importante que esta forma de generación de información cambie para proveer las herramientas necesarias que se adapten a esta.

10.3. Fabricantes/Constructoras y Subcontratistas

Existe, por razones obvias, una relación muy estrecha entre fabricantes y subcontratistas principalmente por ser estos últimos los encargados de la mayoría de las órdenes de materiales a los fabricantes. Siendo esta la principal razón, esta circunstancia se da, por lo general al principio de la fase presupuestos del proyecto, por lo que, salvando la comunicación con los arquitectos, los fabricantes se centran casi exclusivamente en proveer información sobre los precios de sus productos a los subcontratistas. Adicionalmente, los fabricantes también les proveen información técnica que permiten a subcontratistas cumplir con la documentación sobre control de calidad que se les exige y de instalación útil para la manipulación de sus productos.

Desde la perspectiva de su flujo, el intercambio de información entre estos dos agentes queda prácticamente en su totalidad entre ambos, tanto por la poca inclusividad en las fases tempranas de diseño y gestión del proyecto como por inaccesibilidad a un soporte en el cual la información pueda ser dirigida y gestionada correctamente. Como resultado, la

práctica totalidad de la información que pudiera ser útil o tener un impacto en la consecución del proyecto constructivo se pierde y, en muchos casos, esto es una causa de generación de problemas durante la fase de ejecución de la construcción que pueden tener un impacto importante en la productividad.

10.4. Arquitecto/Ingeniero

Al tener estos dos agentes una participación más paralela en el tiempo y una colaboración más directa casi exclusivamente entre ellos se tiende a obviar a la hora de considerarla respecto a otros agentes de la construcción. Si bien mucha de la información que generan los ingenieros tiene una finalidad mayormente para el trabajo de diseño de los arquitectos, esta información es importante que no quede desvinculada del resto de información que el arquitecto genera.

Existen varias formas en las cuales los ingenieros aportan información y esta se plasma en el proyecto final del arquitecto. Ingenieros estructurales, civiles y mecánicos suelen aportar sus propios planos y sus documentos como los pliegos de condiciones dentro del proyecto como un añadido al mismo. Si bien es verdad que tal información es recogida por el arquitecto para ajustar el diseño a las especificaciones de estos, por regla general, no suele existir una interacción entre ellos más allá de considerar los condicionantes y restricciones que se pueden aplicar unos a otros.

Un importante paso adelante que se está dando hacia el camino de la implantación de metodologías VDC es la colaboración BIM entre estos agentes. Actualmente, en muchos proyectos, arquitectos e ingenieros, trabajan usando modelos BIM independientes, los cuales el arquitecto (o un BIM Manager) se encarga de coordinar para facilitar la colaboración entre estos. Por ejemplo, es común que el arquitecto cree un modelo BIM del edificio y durante las distintas etapas de producción (diseño, construcción, proyecto final, etc.) los ingenieros crean sus modelos BIM (estructural, mecánico, eléctrico, etc.) que se enlazan en un mismo modelo. Esto ayuda a la coordinación y gestión de la creación del proyecto y va encaminado a la gestión del proyecto mediante VDC, sin embargo, en última instancia su finalidad acaba ahí y es a todas luces insuficiente para crear un flujo de trabajo integral desde el principio hasta final

10.5. Arquitecto/Constructora

En esta relación, se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentalmente. El primero es la información que los arquitectos generan en sus proyectos y la forma en la que la generan y el segundo la forma de transmitir dicha información. Respecto al primero, la generación de proyectos arquitectónicos mediante modelos BIM es un hecho. Obviamente, todavía se tiende a realizar proyectos de menor envergadura mediante herramientas CAD, bien porque se tiene la creencia de que el uso de BIM para este tipo de proyectos no es adecuada o bien porque el estudio de arquitectura o los técnicos a cargo de este todavía no han hecho la transición hacia esta metodología.

Cabe destacar en este punto, que ciertas administraciones en distintas regiones por todo el mundo ya están regulando que los proyectos que se generen, de cara a su presentación en la administración pública, sean elaborados con metodología BIM, la cual facilita en gran medida la labor de la administración en labores de control en normativa e impacto en el entorno.

En lo que al formato en el que la información es transmitida por parte del arquitecto, esta se basa casi exclusivamente en la plasmación del modelo BIM en el formato tradicional de planos, bien para su impresión en papel, bien para su lectura en soporte digital. La lectura digital de planos y documentos ya fue un avance desde hace más de una década, pero a todas luces sigue siendo simplemente una forma algo más cómoda de trabajar, no un avance real en la forma de gestionar la información de un proyecto.

Es importante poner el foco en este punto, ya que la finalidad de lo que el arquitecto genere como proyecto va a influir en mucho en el formato en el que se tenga que crear. Si el proyecto se genera en un entorno BIM adecuado para la metodología VDC, el modelo BIM puede usarse para tal fin o simplemente generarse los planos y documentos de forma tradicional. Sin embargo, si el proyecto no se desarrolla mediante herramientas BIM o se desarrolla sin el suficiente nivel de detalle para su uso mediante VDC, la gestión del proyecto está vetada al uso de esta metodología. Es por ello por lo que es tan importante la concienciación, por parte de los arquitectos e ingenieros, de la generación de modelos BIM con un nivel de detalle óptimo.

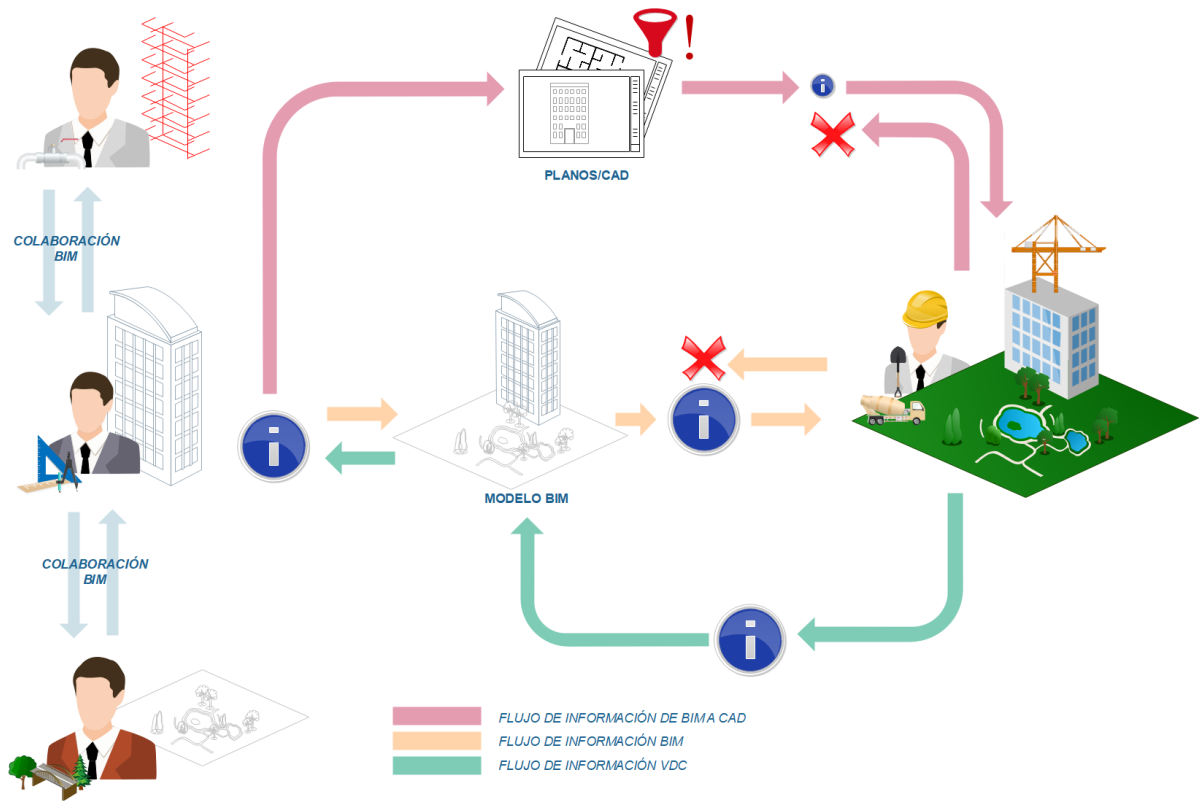


Figura 10 Flujo de información CDC, BIM y BIM+VDC (Fuente: autor)

10.6. Constructora/Subcontratista

Este eslabón de la cadena es uno de los más débiles actualmente cuando se habla de colaboración mediante metodologías BIM y VDC. En ocasiones, se achaca a la falta de especialización profesional de los subcontratistas el no incluirlos en general, en los ciclos de mejoras a través de nuevas herramientas tecnológicas. Esto es un fallo fundamental ya que esta figura es un actor muy importante a la hora de que la ejecución de la construcción se lleve a cabo con garantías.

Comúnmente, los subcontratistas reciben la información sobre el proyecto dependiendo del grado de implicación que contratista general cree conveniente. Si bien para trabajos con importancia relevante, como estructuras o instalaciones, o especializados, como electricidad o sistemas de electrónicos, pueden recibir total o parcialmente el proyecto, ocurre con frecuencia que muchos otros subcontratistas reciben la información para trabajar sobre un proyecto mayormente para poder realizar un trabajo de presupuestado. Es una práctica que la mayoría de los subcontratistas no intervengan prácticamente durante la fase de diseño del proyecto e incluso se requieran de sus servicios cuando ya está iniciada e

incluso avanzada la fase de construcción. Más adelante se verá con más detalle los beneficios de incluir a los subcontratistas en el proyecto desde las fases tempranas de este.

Aunque la relación de ambas figuras se circunscribe casi exclusivamente en las fases de presupuestación y construcción, es en esta primera donde el flujo de información se vuelve más importante. Esto es debido a que la fase de presupuestos es una fase con una limitación en el tiempo comúnmente muy estricta y, además, porque es la generación correcta de un presupuesto tiene un componente económico muy crítico, por lo que el formato de entrega de la información es un factor de gran importancia para generar un presupuesto en tiempo y con garantías.

Respecto a la fase de construcción, suele considerarse que, al encontrarse ambos actores en obra durante un periodo prolongado de tiempo, ambos tienen una fluidez de traspaso de información óptima. Sin embargo, es el formato de entrega y en la tardía o nula inclusión de los subcontratistas en la gestión del proyecto de forma global, lo que suele repercutir negativamente en la productividad por culpa de desfases de tiempos, consideraciones erróneas por falta de conocimiento específico.

10.7. Usuario final

Esta relación del resto de los agentes constructivos con el usuario final debería estar enfocada a que este tuviera las herramientas óptimas disponibles para poder gestionar y mantener el bien en el que ha invertido de una forma eficiente. En la práctica, la información que normalmente recibe está segmentada en distintos documentos de forma inconexa, en distintos formatos y que, por regla general, responde a distintas motivaciones.



Figura 11 Información para Usuario Final (Fuente: autor)

En última instancia, el usuario final, respecto a la inversión que ha realizado, no recibe una herramienta útil que relacione y centralice la información existente sobre el edificio o infraestructura, por lo que, en caso de querer realizar una gestión eficiente, se le hace necesario generar de nuevo un nuevo soporte que le permita volcar toda la información generada anteriormente, que esta esté conectada y sea accesible.

11. Flujo eficiente de la información

Hasta ahora se ha podido observar que, si se tiene como objetivo optimizar la industria de la construcción para aumentar su productividad, la información generada es, a grandes rasgos, cuanto menos insuficiente, inconexa y elaborada a destiempo. El objetivo de elaborar un flujo de la información eficiente es poder identificar qué información se debe generar, por quién, para quién, cuándo y cómo. De esta forma, es posible hacer una planificación y una elección de vehículos de información que permita una mejor productividad.

Es conveniente, llegados a este punto, hacer una división del proceso constructivo en 5 etapas bien diferenciadas que son el diseño inicial, la elaboración del proyecto, la etapa de preconstrucción, la construcción y la etapa de uso y mantenimiento del edificio. Esta división permitirá que la planificación tenga un contexto temporal más coherente y poder discernir distintos tipos de información a generar en cada etapa temporal y entender qué agentes deben estar involucrados, en mayor o menor grado, en cada una de ellas.

Si bien los elementos que se van a analizar e incluir a partir de este punto son los fundamentales a la hora de acatar una construcción, esto se puede llevar a un nivel de detalle mayor el cual permitiría una gestión más controlada y planificada, aunque siempre se debe tener en consideración las necesidades y capacidades con las que se cuentan, ya que esto puede generar una sobreinformación difícil de controlar.

11.1. Dirección y sentido de la información

Al flujo de información de un proyecto constructivo se le es posible incluir dos características interesantes. Una, más obvia y que en general se da por sentada, es la dirección del flujo de información. La dirección es aquella que une a dos intervinientes en el intercambio de información, por ejemplo, la información del proyecto tiene una dirección entre el arquitecto y el contratista o la información sobre los materiales que un fabricante de suelo cerámico proporciona al arquitecto para la definición. Obviamente, se tiende a pensar que es dirección tiene un sentido natural, en el primer ejemplo el arquitecto hacia el constructor y en el segundo del fabricante al arquitecto.

Ahora bien, si se considera a la información como una red de canalizaciones, las cuales se pueden divergir, retroalimentar, empujar o succionar, se abren otro tipo de relaciones que enriquecerían el flujo de información y que, debidamente gestionadas, planificadas y con una comunicación clara y correcta, beneficiarían en mucho la productividad del proceso constructivo.

Partiendo, por ejemplo, que un contratista, para la planificación de la seguridad y la gestión de acopios de materiales en la fase de construcción, le sería de gran utilidad conocer de antemano cómo va a ser el diseño de las zonas viales y de aparcamiento de un complejo. Con la debida organización y planificación de la información, el contratista puede pedir ("tira" de la información) al diseñador que aporte la información para tal objetivo en el tiempo y forma que les es conveniente.



Figura 12. Sentido y flujo de la información (Fuente: autor)

Fijándonos en la Figura 12, se definiría en azul el sentido de la información, es decir, quién la genera y quién la recibe. En amarillo, se tendría el sentido de la demanda de información, es decir, quién pide la información a quién. Si bien el primero es bastante obvio, el segundo guarda un matiz importante, ya que, la falta de consistencia en el formato de la información crea desajustes y problemas en el proceso constructivo, por lo que, identificando la demanda de la información, se pueden establecer los criterios de tiempo y forma en que se quiere recibir dicha información. De este modo, es posible crear flujos de información que aumenten la productividad.

11.2. Relaciones directas de información

Desarrollando un poco más la Figura 6 del apartado 10.1, en la Figura 13 se puede observar con más detalle las principales relaciones directas de información entre sí de los distintos agentes. Usándola de guía, es posible añadir una dimensión temporal y, además, conexiones direccionadas sobre la información que permitan identificar la dirección de la información.

AGENTE QUE DEBE GENERAR LA INFORMACIÓN

	Dueño/Promotor	Arquitecto	Ingeniero	Fabricante	Constructor	Sub-contratista
Dueño/Promotor		Opciones de diseño y construcción viables.	Opciones de diseño y construcción viables.	Información para el uso y mantenimientos del edificio. Opciones disponibles para el diseño.	Coste total de ejecución. Planificación y Gestión de la construcción en tiempo y forma. Proyección y seguimiento de costes. Potenciales problemas tras cierre de obra.	Coste parcial de ejecución. Información especializada y específica sobre elementos para mantenimiento.
Arquitecto	Necesidades de diseño.		Proyecto parcial asignado. Inconsistencias en modelo arquitectónico que afectan a su diseño.	Opciones disponibles. Características técnicas. Coste.	Planificación y Gestión de la construcción. Inconsistencias de proyecto encontradas. Proyección y seguimiento de costes. Tests completados y cumplimiento de normativa y códigos.	Inconsistencias de proyecto encontradas. Información especializada sobre elementos.
Ingeniero		Modelo de diseño.		Opciones disponibles. Características técnicas. Coste.	Inconsistencias de proyecto.	Inconsistencias de proyecto encontradas. Información especializada sobre elementos.
Fabricante	Necesidades de diseño.	Requerimientos de cumplimiento de los elementos y materiales.	Requerimientos de cumplimiento de los elementos y materiales específicos de su especialización.		Requerimientos de cumplimiento de los materiales. Tiempos necesarios y formato de entrega.	Volumen de pedidos. Requerimientos de entrega en tiempo y forma.
Constructor	Tiempos y formas de entrega de obra. Condicionantes económicos. Condicionantes de contratación.	Proyecto constructivo.	Proyecto constructivo específico de su especialización.	Características técnicas. Coste. Instalación y seguridad.		Coste parcial de ejecución. Información especializada sobre elementos. Tiempos y condiciones necesarios de ejecución parcial.
Sub-contratista		Proyecto constructivo parcial.	Proyecto constructivo específico de su especialización.	Características técnicas. Coste. Instalación y seguridad.	Planificación de tiempos de ejecución. Requerimientos sobre seguridad y ejecución de obra.	

AGENTE QUE DEMANDA LA INFORMACIÓN

Figura 13. Relaciones de información entre distintos agentes (Fuente: autor)

11.3. Esquema temporal

En el esquema de la Figura 14 se puede observar el resultado de incluir el factor tiempo a la tabla de la Figura 13. De este modo, se puede identificar los agentes que van a generar y recibir información por lo que es posible una planificación de dichos agentes en cada fase y en conjunto las necesidades y responsabilidades.

Un punto clave de todas estas relaciones de información es que su planificación permite a los agentes que van a recibir dicha información especificar las necesidades de cómo quieren dicha información. Por ejemplo, en la fase de construcción, el contratista va a recibir el proyecto del arquitecto y el ingeniero, por lo que le puede resultar conveniente para la fabricación, acopio e instalación de la carpintería que esté nombrada a partir de una codificación que le permita saber, entre otras cosas, si es interior o exterior, planta, tipo, acabado, etc. de manera que, ya en la fase de elaboración de proyecto esto puede quedar acordado entre ambos. Del mismo modo, para los elementos que el ingeniero tiene que dimensionar, puede requerir a los fabricantes que incluyan en sus modelos dicha información necesaria que permita la elaboración de dichos cálculos con los mismos elementos que se usan para la elaboración del proyecto sin que estos queden disociados.



Figura 14. Relaciones de información en las distintas etapas del proceso constructivo (Fuente: autor)

En la planificación de la información reside buena parte del éxito para la mejora de la productividad. Por ello, es necesario tener muy en cuenta las fases futuras en las cuales cada agente va a tener que intervenir para poder adelantarse a las necesidades, propias y ajenas, que se van a encontrar. Por ejemplo, cualquier información que el arquitecto pueda incluir en la fase de proyecto que pueda ser útil en la fase de construcción es conveniente que sea considerada e incluida en cualquier fase anterior. Del mismo modo, cualquier información que un fabricante pueda incluir desde el principio que pueda ayudar a fases futuras, como la construcción o el mantenimiento del edificio, es información que es conveniente tener para sea considerada cuanto antes mejor.

En una primera fase de diseño, se observa la inclusión de, además del arquitecto y el dueño/promotor, de los fabricantes y de la constructora. Esto, visto desde una perspectiva temporal lineal, puede parecer algo forzado. Respecto a los fabricantes, puede no tener mucho sentido incluir en esta etapa a todos los que van a ser considerados para la construcción, pero se puede y se debe, considerar a aquellos que son seleccionados inequívocamente en esta etapa y aquellos que, aun no habiendo sido seleccionados, pueden tener un impacto elevado durante la ejecución o vida útil del edificio. Su inclusión tiene un beneficio muy positivo posterior ya que se les incluye desde el principio en la planificación y tienen la oportunidad interactuar con otros agentes aportando la información precisa y en la forma que los otros agentes les soliciten. Respecto a los contratistas, su inclusión tiene un impacto aún más positivo, ya que pueden realizar una gestión y planificación de la obra desde una fase más temprana identificando puntos críticos y posibles complicaciones futuras.

En la fase de elaboración de proyecto, además de las relaciones básicas que se encuentran normalmente, se pueden incluir ciertas relaciones de información con vistas a mejorar la productividad en esta misma fase y en las posteriores. Especialmente útil es la aportación de información especializada por parte de subcontratistas. Éstos constituyen una fuente de información que se suele postergar hasta la fase de presupuestación o incluso en construcción. La posibilidad de mejorar el proyecto constructivo en esta temprana fase tiene sin duda un impacto difícilmente igualable posteriormente tanto para prevención de cambios futuros en el proyecto como en la toma correcta de decisiones en distintas áreas como la planificación temporal o resolución de elementos constructivos, entre otros.

En preconstrucción existen ciertas actividades fundamentales como son la presupuestación, la contratación, la planificación de seguridad de obra y el análisis de inconsistencias entre partidas. Este último, un proceso bastante novedoso y que se verá con detalle más adelante, consiste en que, una vez el contrato es asignado a una constructora, esta realiza un análisis de las instalaciones usando programas informáticos², devolviendo los resultados al arquitecto e ingenieros encargados del proyecto para su resolución y así adelantarse a los

² Este tipo de análisis se conoce como *Clash Detection*. Básicamente comprende el análisis de los modelos BIM para comprobar si existen geometrías de distintos elementos que, al haber sido diseñados por equipos distintos, puedan superponerse y puedan ser modificados en proyecto.

posibles contratiempos que se puedan producir en la fase de construcción. En cualquiera de estas subtarear, la correcta transmisión de la información en tiempo y forma es fundamental e incluso puede llegar a ser muy decisiva, como en el caso de los presupuestos. Por ello, una buena comunicación entre distintos agentes permite que la información pueda ser óptima para que dichas subtarear se puedan desarrollar con garantías. Que contratistas y subcontratistas puedan recibir el modelo de proyecto de modo que no sea necesaria la realización de mediciones para su presupuesto, que fabricantes puedan tener con anticipación un volumen de pedidos para maximizar sus precios o que el contratista reciba un proyecto con información suficiente para realizar una correcta y temprana planificación de tiempo y seguridad en construcción son algunos ejemplos de colaboración en esta fase que repercuten directa y sustancialmente en la productividad final del proyecto constructivo.

En la fase de construcción, a pesar de que la diversidad de interacción de los distintos agentes se reduce en número, por la dilatación en el tiempo de esta fase y la comunicación más continuada entre estos, el seguimiento y control de la construcción es la actividad con transmisión de información en la que más importancia y más esfuerzo se debe poner para motivar su mejora y la productividad del proyecto constructivo. De este modo, la planificación por un lado y las herramientas que se implementen para mantener la información fluida y disponible entre todos los agentes serán los pilares básicos de mejora de esta fase.

El punto final del proyecto constructivo, su uso y la necesidad de su mantenimiento, requiere del mismo modo el establecimiento unas transmisiones de información entre distintos agentes que permitan al usuario final el correcto disfruto del bien de su inversión. Por ello, es importante que todos los integrantes que han provisto de información el proyecto durante todas las fases anteriores a su consecución puedan, de una manera directa o indirecta, plasmar toda esta información para su correcto uso por parte del usuario final. Si bien esto es importante, el vehículo o formato en el que esta información sea entregada tendrá un impacto importante en la forma en la que se pueda hacer uso de ella, por lo que la definición de este formato de entrega es algo que debe ser tenido en cuenta desde el inicio del proyecto constructivo.

Llegados a este punto, ya se es capaz de, a través de una planificación, poder poner en contacto dichos agentes para que sean capaces de que cada transacción de información entre ellos y en conjunto sea de la forma más productiva posible. En el apartado de *Planificación para el correcto desarrollo de la información* se procederá a definir una propuesta de cómo se puede estructurar dicha planificación.

12. BIM/VDC como vehículos de la información

Hasta ahora este trabajo se ha centrado, casi en exclusiva, en una visión sobre la planificación de la información. Este apartado se centrará en las ventajas de la utilización de la metodología VDC para la dinamización del flujo de información. Para ello se desarrolla de forma genérica la implantación VDC en cada etapa descrita anteriormente pero siempre teniendo en cuenta que esta sea una implantación integral, no centrada exclusivamente en la consecución de las etapas por separado partiendo, como se ha subrayado anteriormente, de la planificación.

En este punto, se hace necesario la puntualización de un término que va a utilizarse en los siguientes apartados de este documento. Haciendo un paralelismo a lo que hace unas cuantas décadas se llamaba la “digitalización” de los planos arquitectónicos cuando se comenzó a utilizar las herramientas CAD para la realización de los mismos, ahora, para poder ir un paso más allá y en relación con el objetivo que aquí se propone, se puede denominar el término “modelización” a la realización de modelos 3D con información asociada como el vehículo idóneo de la información de un proyecto constructivo.

Aunque en el apartado 6.3 se ha expuesto una explicación sobre la diferencia entre BIM y VDC, es importante diferenciar, además, la relación que estas dos tienen con la información. Se puede decir que BIM es un modelo 3D que tiene información relativa a la definición del edificio o infraestructura a construir. Por otra parte, VDC es una metodología que usa un modelo BIM para gestionar la información durante el proceso de construcción. Si, además, se hace la diferenciación de la información necesaria para los procedimientos en preconstrucción y construcción y se incluyen la información que será útil y necesaria para el uso y mantenimiento del edificio, se concluyen 3 factores que merece la pena destacar su relación. Uno es las fuentes de información (fabricantes, arquitectos, contratista, etc.), otra son las fases de la construcción y una última es la finalidad u objetivo de la información (para modelado BIM o gestión VDC). Desde este punto de partida, la información que se genera no se debe circunscribir únicamente ni a un tipo de información (BIM o VDC), o a una fase del proyecto o a un agente del proceso. Por ejemplo, un modelo BIM de ventanas

que un fabricante provee a un arquitecto en la fase de diseño, no debe únicamente responder a la tarea principal del fabricante en esa primera fase que sería proveer un modelo que ayude a definir el proyecto completo (información BIM), sino que, ese mismo modelo BIM, además, debería proveer información de etapas posteriores como el coste, instrucciones de instalación o mantenimiento.

		Fase del proyecto			
		Diseño	Preconstrucción	Construcción	Uso y mantenimiento
Tipo de información	BIM	Modelado del edificio. Integración de elementos de fabricantes.	Resolución de inconsistencias en proyecto.	Resolución de inconsistencias en proyecto.	Realización de proyectos de reparación, mejora o ampliación.
	VDC	Inclusión de datos en el modelo para su uso en la gestión posterior.	Gestión de presupuestos, adjudicación, inconsistencias, planificación, etc.	Gestión de obra, costes, planificación.	Gestión y planificación de mantenimiento.

Actividad principal en esa fase
 Actividad secundaria en esa fase

Figura 15 Actividades por fase y tipo de información (Fuente: autor)

Es importante poner en perspectiva cómo se desarrolla la distribución de la información que un modelo constructivo 3D contiene y la relación que esta tiene con los distintos agentes involucrados. Se puede observar, tanto desde una perspectiva del tipo de información en la Figura 16 como desde una perspectiva de la fase constructiva en la Figura 17, cómo el grueso de la información BIM se genera en la etapa de diseño, cómo la mayor parte de la información VDC se genera en las etapas de preconstrucción y construcción y como la información de uso y mantenimiento también se genera en la etapa de diseño.

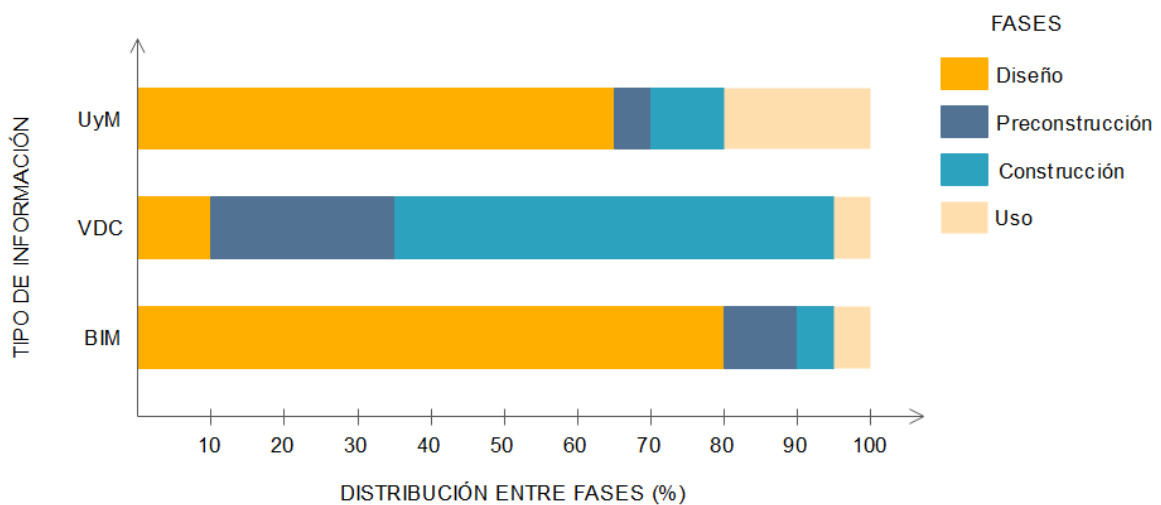


Figura 16 Distribución del total de cada tipo de información por fase (Fuente: autor)

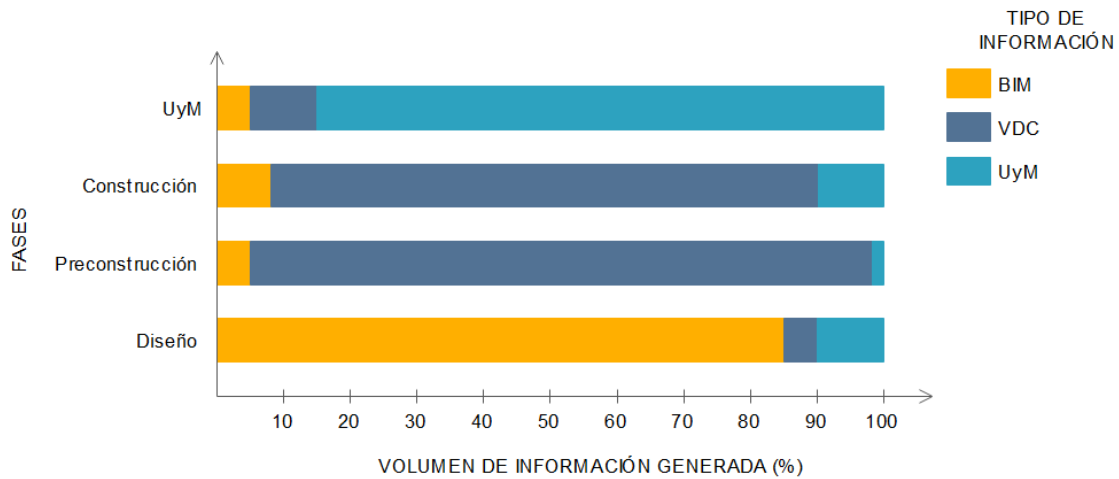


Figura 17 Información generada por fase (Fuente: autor)

Respecto a la relación de los tipos de información con los distintos agentes, en la Figura 18 se puede observar cómo en el modelo 3D la mayor parte corresponde a la información BIM, en menor medida a la información VDC y con un volumen mucho menor la información de uso y mantenimiento. Los fabricantes tienen una implicación mayor en la información BIM, algo menor en la información de uso y mantenimiento y en último lugar con la información VDC. Los diseñadores centran su labor en la información BIM y, en un segundo plano en el resto de información. Tanto constructora como subcontratistas, gestionan un volumen importante de la información VDC en comparación con el resto de información, siquiera mencionar que, en el caso de algunos subcontratistas especializados, su relación con la información BIM pudiera ser más elevada.

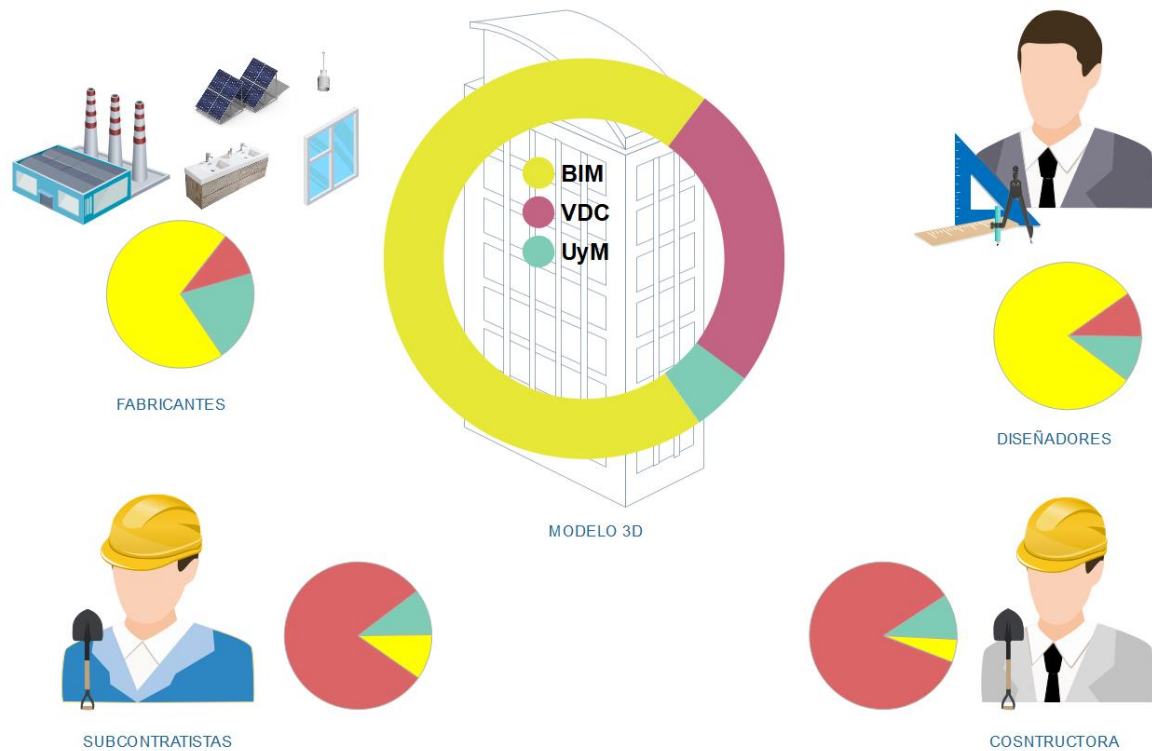


Figura 18 Relación del tipo de información y los agentes constructivos (Fuente: autor)

12.1. *Diseño y elaboración del proyecto*

Desde esta primera fase ya se han hecho grandes pasos para la transformación de la información de los proyectos constructivos en modelos BIM. Si bien cada vez más las oficinas de arquitectura e ingeniería no discriminan en cuestión de tamaño del proyecto para generarlo a través de modelos BIM, sí que es verdad que esta modelización queda acotada, en la gran mayoría de los casos, a las necesidades y requerimientos que esta fase de diseño, compartiendo los modelos BIM en fases de diseño con otros intervinientes en el mismo, pero al final haciendo la entrega del proyecto en formatos de planos CAD o digitales.

Tiene toda la lógica que, si la información de un proyecto en formato BIM hasta ahora no ha sabido ser gestionado por constructoras y subcontratistas, los diseñadores concentren sus esfuerzos en lo que para ellos les es necesario y requerido. Es por ello por lo que, gracias a la planificación, los diseñadores, a partir de las necesidades plasmadas por contratistas, subcontratistas y el usuario final, adecúen y enriquezcan la información del proyecto canalizándola hacia el modelo BIM para que esta pueda ser posteriormente gestionada de forma eficiente.

Comúnmente, los proyectos de construcción tienen una disociación principal en cuanto se componen de una serie de planos que lo definen gráficamente y unos documentos que lo definen de forma escrita, lo que se conocen como planos y pliegos de condiciones. Esta disociación entre ambos hace que el análisis y gestión de los proyectos tenga fuentes de información distintas para unos mismos elementos. De este modo, para cualquier elemento de un proyecto, se puede observar que varios planos muestran una geometría acotada y que estos, a través de leyendas, remiten a unas definiciones básicas en los planos, que a su vez obligan a realizar una búsqueda en los pliegos de condiciones para una definición de los elementos de forma detallada. En un entorno BIM se puede, desde un entorno 3D, seleccionar el elemento y visualizar parte de sus propiedades e incluso sus medidas, áreas y volúmenes sin necesidad de referirse a ningún otro documento. Yendo más allá, en un entorno BIM/VDC, simplemente seleccionando los elementos, además de esta información se podría encontrar información sobre su fecha y tiempo de ejecución, información sobre su instalación, riesgos y medidas de acopio y manejo, coste, vida útil, entre otra información útil, no sólo para la realización del proyecto arquitectónico, sino también para la planificación y ejecución de obra y su mantenimiento.

A pesar de que los modelos BIM de los proyectos arquitectónicos no tienden a incluir la información más allá que aquella necesaria para la definición arquitectónica, los programas informáticos para el desarrollo de estos poseen las características necesarias para que se puedan incluir y, mayormente, una cuestión de coordinación y planificación el incluirla o no.

Otra figura que juega un papel importante en esta fase son los fabricantes de elementos constructivos, los cuales los diseñadores van a recurrir a ellos para la definición del proyecto. Que dicha definición sea finalmente la correcta y necesaria en un entorno VDC no puede ser únicamente responsabilidad de los diseñadores. Si bien esto es verdad, y conectándolo con lo visto sobre la conveniencia de conocer las necesidades que el que va a recibir una información por parte del que la genera, tampoco debe sorprender que la información que los fabricantes generan en sus modelos BIM estén, como se ha citado anteriormente, orientados al proyecto arquitectónico y su labor comercial.

De este modo, aunque se verá más adelante en detalle, lo mínimo que a los fabricantes se le debe requerir para ser partícipes en la implantación de los procesos VDC es que sus productos estén en un formato BIM, sean correctos y actualizados.

12.2. Preconstrucción

Una de las tareas principales en esta fase y que se puede beneficiar en mucho de la implantación de la metodología VDC es la presupuestación. La generación de mediciones para la obtención de costes y precios es una de las actividades que suponen un coste en tiempo y una probabilidad de errores que comprometen, no sólo la productividad, sino que incluso en algunos casos la viabilidad del proyecto constructivo. Al trabajar con los modelos BIM, la realización de mediciones se simplifica hasta poder llegar a sólo filtrar los elementos deseados y extraer las medidas que se necesitan. De este modo, no sólo se trabaja con datos que son fáciles de extraer y fiables de primera mano, sino que, si se trabaja con modelos que se actualizan para subsiguientes fases de presupuestación, los datos se actualizan de un modo casi automático y, por ende, las propuestas económicas.

Una segunda tarea que, como se ha apuntado anteriormente, comienza a tomar fuerza durante esta fase es la del análisis de interferencias entre elementos o *Clash Detection*. En este caso, contratistas y subcontratistas, a través de un soporte VDC, son capaces de analizar interferencias entre distintos elementos del proyecto que, en general por ser partidas de obra que se analizan por separado, no se detectan en su mayoría hasta la fase de construcción. El gran avance de esta técnica que se ha incorporado a los sistemas VDC es que el análisis de las geometrías 3D permite que, al tener la información asociada a dichos modelos, se automatice la detección dependiendo de los parámetros introducidos para dicha detección. Por ejemplo, es típico contrastar los modelos de estructura o arquitectura con fontanería, electricidad y aire acondicionado y estos tres últimos entre ellos. Simplifica mucho, por ejemplo, la localización y resolución de detalles de las bajantes de fontanería con los forjados. De este modo, las interferencias detectadas, al poder ser halladas en un tiempo muy corto, es posible ser subsanadas en proyecto antes del comienzo de la construcción conllevando una considerable reducción en costes.

Es en la fase de preconstrucción, al igual que en la construcción, donde mejor se puede observar las bondades que la implementación de la metodología VDC tiene sobre la

productividad en el proceso constructivo. El uso de los modelos BIM con herramientas VDC permite la simulación con la variable del tiempo y visualización 3D (lo que se conoce como 4D) de la implantación de medios, la simulación de tráfico, la implantación de andamios, medios auxiliares y medidas de seguridad, la simulación temporal de acopios, simulación de ejecución de obra, etc., todo ello en conjunto, por lo que ofrece una simulación de toda la obra, con todos los elementos constructivos y auxiliares, por lo que ayuda a planificar teniendo una perspectiva mucho más visual. No cabe duda de que esta forma de planificación, en contraposición a los planos estáticos y diagramas de Gantt mejora en mucho la productividad al prever de mejor manera posibles problemas y al encontrar soluciones más ventajosas con anticipación.

12.3. Construcción

La otra tarea importante que se ve afectada de manera muy positiva gracias a la implementación VDC es la de construcción. Gracias a esto se puede observar cómo la unificación de la información en un único modelo de trabajo 3D facilita la labor de control de la ejecución de obra a través de diferentes acciones. El comienzo de colaboración en el proyecto es desde la fase anterior de diseño, por lo que el comienzo de esta fase de construcción se realiza con una mejor adecuación y de forma menos abrupta. Se puede realizar un seguimiento de lo actualmente construido comparándolo con lo proyectado de una forma visual y, asociado a esto, el seguimiento económico de la construcción. Gracias a la posibilidad de trabajar desde una única fuente de información, reduce en gran medida el tiempo que transcurre entre el planteamiento de un problema o situación y la toma de decisiones por parte de los equipos intervinientes. Permite una simulación 3D temporal de cada una o el conjunto de todos los elementos constructivos para facilitar la toma de decisiones. Es posible la comunicación entre los distintos agentes en obra de una manera visual a través del modelo 3D de modo que agiliza la información y reduce la posibilidad de errores. Permite la actualización del modelo BIM sin la necesidad de generar planos o documentos duplicados y la actualización de mediciones a través de ella. Permite la inclusión de información relevante tras la finalización de la construcción que pueda tener un impacto en su posterior uso y mantenimiento.

Aunque pueda dar la sensación de que en esta fase la metodología VDC no tiene un impacto significativo en comparación con una forma más tradicional de gestión, es lo dilatado en el tiempo de esta fase lo que hace que la optimización de tareas que se repiten muchas veces durante un largo periodo de tiempo tenga un gran impacto en la productividad total de esta fase.

12.4. Uso y manteniendo

Si bien esta fase suele quedar muy soslayada, la metodología VDC no sólo impacta en la forma en la cual la información queda recogida finalmente para poder ser consultada a posteriori, una vez se ha finalizado la construcción, si no que ofrece una forma de gestión activa. Permite gestionar a través de un único modelo 3D la información de mantenimiento de materiales y elementos. La capacidad de simulaciones ofrece una mejor toma de decisiones. Se puede realizar una planificación de mantenimiento acorde con la información del modelo actualizando el modelo con lo ejecutado. Se tiene acceso a elementos y dispositivos de seguridad y riesgo que permiten una rápida visualización en caso de emergencias como incendios o evacuaciones necesarias. Es una herramienta que habilita el uso de realidad aumentada y realidad virtual para muchas actividades, ya sean de mantenimiento como la inspección in situ de instalaciones sin necesidad de abrir paramentos o de uso del edificio como guías para su recorrido en museos o centros culturales.

Actualmente, existen iniciativas para la implementación de metodología VDC para elementos constructivos que fueron contruidos ni siquiera con modelos BIM y a través de un escaneado 3D permite tener una representación virtual del elemento al cual se le incluye la información necesaria para su gestión en esta fase.

12.5. Calidad de la información y nivel de desarrollo (LOD)

Gracias al impacto que la implantación y uso de la metodología BIM ha tenido en el aumento de la producción en la construcción, muchos países han ido desarrollando distintas normativas con las que se la industria pueda avanzar a través de unos estándares. Si bien no es objeto de este trabajo ahondar en este sentido, se quiere reseñar que la mayoría de esta normativa avanza con dos aspectos a mejorar. El primero es que el objetivo de las

normativas, en general, está enfocado en canalizar la información respecto a la autoridad gubernamental que, aunque tiene un cierto impacto en cuanto a la producción de la industria en general, no es un impacto tan directo. La segunda, que es un subproducto de la primera, es que pocas normativas han prestado un especial interés en desarrollar y normativizar el LOD. Solamente lo desarrollan con una cierta profundidad *The Level of Development (LOD) Specification* (24) estadounidense, que se verán a continuación, y el AEC-UK Initiative del Reino Unido.

BIMForum, rama estadounidense de la organización internacional BuildingSMART, publica anualmente la guía *Level of Development (LOD) Specification*. Se trata de un guía de especificaciones técnicas que detalla una escala de definición de elementos BIM y su aplicación en gran parte de elementos constructivos como referencia. Su objetivo es servir como una herramienta para mejorar la calidad de la comunicación entre los usuarios de modelos BIM sobre las características que deben cumplir los elementos en los modelos. A pesar de no ser una normativa, el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) ha decidido utilizarla como guía para las secciones de las condiciones técnicas que se incluyen en los contratos en lo que a protocolos BIM se refiere. Hay que destacar también que este documento se realiza con la colaboración de, la anterior mencionada AIA o la Asociación de Contratistas Generales de América (AGC) entre otras organizaciones importantes en el sector de la construcción de este país.

Estos son ejemplos de cómo la industria de la construcción da pasos adelante en unir a los distintos agentes de la construcción en un camino común que permita que todos puedan trabajar más cohesionados, avanzando por el mismo camino y que ello permita un avance en la industria. Sin duda, este es un paso fundamental pero que debe ser llevado más allá individualmente dependiendo de cada caso.

LOD	Representación Gráfica*	Información no Gráfica	Descripción	Ejemplo
100	No, únicamente un símbolo o similar.	No.	Puede ser información no gráfica asociada a otro elemento.	
200	Sí, pero aproximado.	Sí.	Se especifican de forma aproximada cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto.	
300	Sí.	Sí.	Son modelados los ítems necesarios para la coordinación del elemento con otros elementos cercanos o enlazados.	
350	Sí.	Sí.	Equivalente a LOD 300 pero detectando las interferencias entre distintos elementos.	
400	Sí, verificado.	Sí.	Se modela con el suficiente detalle y exactitud para la fabricación del componente que representa.	
500	Sí.	Sí.	Representa el nivel as-built, son las condiciones conforme a obra. Se trata del modelado adecuado para el mantenimiento y funcionamiento de los servicios para la fase de explotación del edificio.	

*Sistema genérico, objeto o unidad con cantidades, tamaño, forma, localización y orientación.

Figura 19 Clasificación Niveles LOD (25).

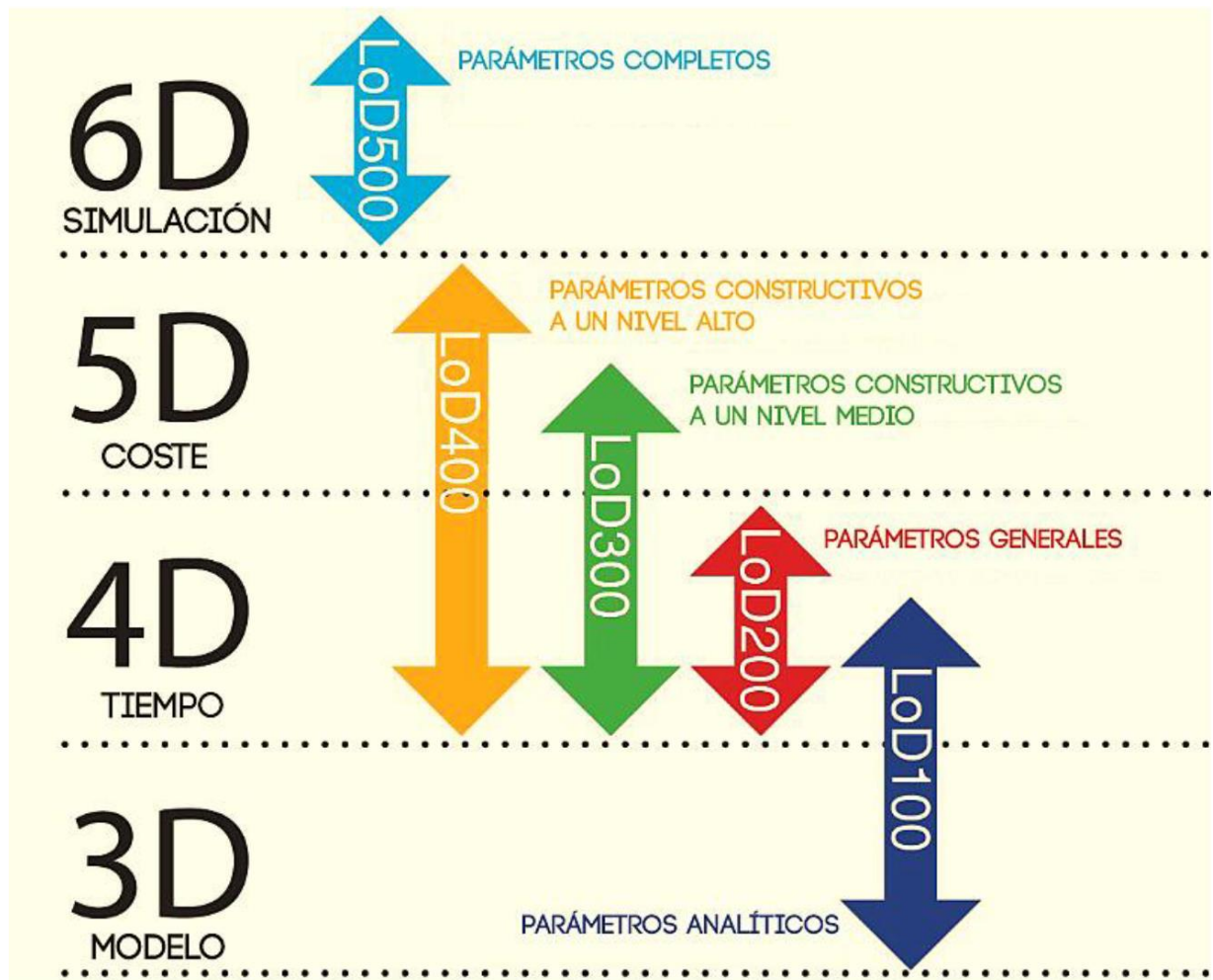


Figura 20 LOD y las dimensiones BIM (25).

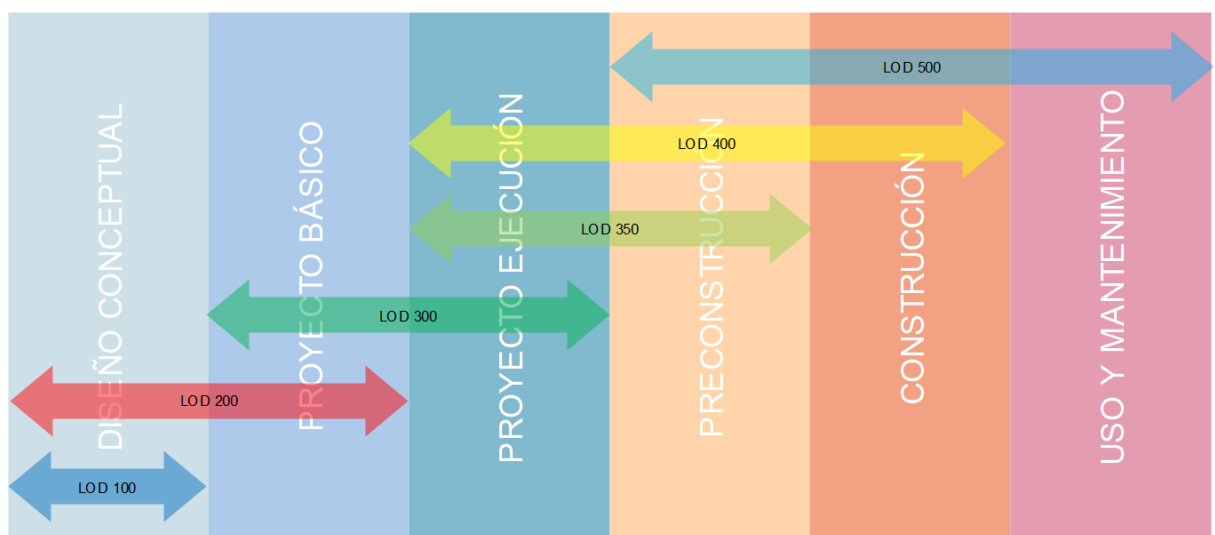


Figura 21 Aplicación de LOD respecto a las fases de construcción y las necesidades VDC (Fuente: autor)

La Figura 21 es el resultado de aplicar las generalidades de la Figura 19 (25) y Figura 20 (25) respecto a las fases de un proyecto constructivo y considerando las necesidades la

metodología VDC en cada una de ellas. Realizando una observación, puede considerarse que, en una fase esquemática de diseño, un LOD 100 o 200 podría ser útil. En una fase posterior de proyecto básico ya se tendría que considerar mínimo LOD 300 e idealmente 350. El LOD 350 es el que en la gran mayoría de los casos se encuentra para los documentos constructivos finales a pesar de ser a todas luces insuficiente. El LOD 400, tras casi diez años de experiencia continua trabajando con proyectos de gran envergadura, el autor prácticamente no ha encontrado alguno en ningún proyecto salvo contadas excepciones a pesar de que te permite en gran medida ser un producto para fabricación, según indican las especificaciones que debería ser. Idealmente, los proyectos de ejecución deberían contar con un LOD de 400 y acabar el proceso de construcción con 500. Todo ello tiene una explicación muy lógica y adolece, fundamentalmente, a un par de factores a tener muy en cuenta.

El primero es de índole técnica. La metodología BIM, como se ha visto, es un avance enorme a la hora de la producción de herramientas de diseño, sin embargo, todavía adolece de suplir herramientas para todas las particularidades que los diseños conllevan. Por ejemplo, existen herramientas muy potentes para poder diseñar rápidamente muros cortina, sin embargo, esta herramienta no ofrece el diseño ad hoc de puntos singulares que, en estos casos, son la gran mayoría para la correcta definición de un sistema de muro cortina completo. Obviamente, esto en sí se puede ver como un problema, pero de la mano del problema puede venir la oportunidad. Más adelante se ahondará en ver cómo la especialización de profesionales en distintos campos tecnológicos está creando nuevas formas de colaborar con las grandes compañías de software como Autodesk o Bentley para poder llegar a ofrecer soluciones donde estas empresas no pueden ir al detalle.

El segundo, reside en el actual modelo de proceso de la construcción. Actualmente, a la hora de elaborar un diseño de construcción, se sigue la tendencia de generar el proyecto sin la práctica intervención ni colaboración de los distintos agentes que luego se harán cargo del proyecto. En este escenario, si se quisiera que el proyecto resultante fuera con un nivel de detalle tal que se pudiera llevar a fabricación cada uno de los elementos del proyecto, no quedaría otra opción que incluir una cantidad ingente de técnicos especializados en las más diversas disciplinas en los estudios de arquitectura/ingeniería para poder aportar todo ese conocimiento en detalle. La solución viene por una pronta colaboración entre los distintos intervinientes, la cual permita, entre otras muchas ventajas anteriormente expuestas, como

una elaboración más detallada y precisa de todas y cada una de las distintas partes de un proyecto. En el caso del ejemplo anterior sobre los muros cortina, una vez el arquitecto tiene un diseño de la fachada, la colaboración temprana con los subcontratistas permitiría la correcta adopción del sistema seleccionado por el arquitecto y la solución de problemas singulares por parte del subcontratista, adelantándose a problemas futuros y consiguiendo, además, una pronta gestión del presupuesto y comienzo de fabricación.

La práctica nos muestra que el nivel de detalle de un proyecto, salvo contadas excepciones, siempre es muy inferior al necesario para la consecución de distintos cometidos por parte de los agentes que reciben el proyecto tras su diseño. Para algunos es más condicionante que para otros y no es menos verdad que la importancia de los distintos elementos constructivos es una forma de jerarquizar a la hora de distribuir los esfuerzos de diseño en todos ellos. No tiene la misma relevancia una estructura que un acabado interior, por lo que es normal que se provean más esfuerzos en un nivel de detalle mayor en el primero que en el segundo. En este sentido, entra un factor en juego muy importante que es el de la especialización de los subcontratistas y proveedores y su interacción con el rol del arquitecto diseñador.

13. Planificación para el correcto desarrollo de la información

La gestión de un proyecto a través de la metodología VDC requiere que se tengan en cuenta dos factores que son representativos del grado de implantación de dicha metodología. Estos son el tiempo y el alcance. El primero, responde desde qué punto de la gestión de proyectos y hasta dónde llega el uso de esta metodología. El segundo, a cómo de profundo es el alcance de esta metodología respecto a los agentes y al proceso de gestión en sí.

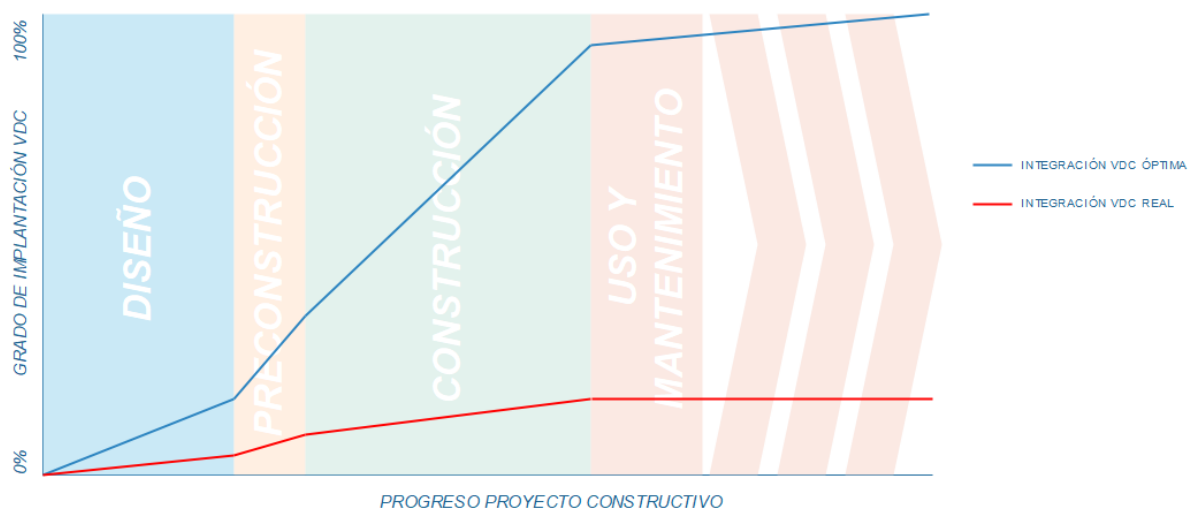


Figura 22 Integración real y óptima de la metodología VDC (Fuente: autor)

La Figura 22 representa la evolución del grado de integración de VDC en un proyecto constructivo óptimo comparado con el que actualmente podría ser lo común. Dividiendo la gráfica por fases, óptimamente, en la fase de diseño, simultáneamente a la creación del modelo BIM, se debe ir creando en el propio modelo las herramientas y añadiendo la información necesaria que sean de uso para esta o fases posteriores. Durante la preconstrucción, la metodología VDC permite que muchas de las actividades que aquí se realizan sean a través de esta y, además, se aporta información crucial para la siguiente fase. En construcción, el seguimiento y gestión a través de VDC se dispara hasta dejar el modelo BIM completamente definido para la última fase de uso y mantenimiento en la cual su gestión y actualización será mucho más dilatada en el tiempo.

Para conseguir esta evolución óptima de implantación, se hace necesaria una planificación estratégica desde el principio. Es conveniente que esta se divida en los suficientes marcos temporales que permitan gestionar la participación de distintos agentes y que se creen hitos temporales para la comprobación de la implantación.

13.1. Fase de diseño

En la fase de diseño es conveniente considerar 3 etapas. En la primera etapa de elaboración del diseño conceptual es de vital importancia que el arquitecto diseñador plantee al promotor que para la licitación del proyecto se establezcan los requisitos de gestión del proyecto mediante la metodología VDC, para que, de este modo, todas las constructoras que se presenten estén de acuerdo y preparadas desde el primer momento para tal tipo de gestión. Es importante destacar que el arquitecto diseñador cumple un papel muy importante como impulsor de la implementación de gestión VDC por ser el primer actor en proponer y convencer de las virtudes de esta que, a priori, pueden llegar a parecer al promotor un coste económico no necesario. Una vez el proyecto es licitado, arquitecto y constructor deben sentar las bases de la gestión VDC planteando las necesidades futuras y las formas de colaboración para que el modelo BIM del arquitecto se adecúe a la gestión VDC.

La segunda etapa de diseño, la elaboración del proyecto básico, conlleva el comienzo de varias relaciones importantes que, probablemente, se extiendan en el tiempo hasta el final de la siguiente y última etapa de diseño. Una es la de arquitectos y fabricantes de productos que, como se desarrollará en el apartado 14, es en este punto en el que, la inclusión en el modelo BIM del arquitecto de los modelos BIM de fabricantes, hace necesario que estos últimos se adecúen a las necesidades de la gestión VDC y que sea el arquitecto el agente que garantice dicha funcionalidad. Una segunda es la integración de las necesidades del usuario final respecto a la gestión del uso y mantenimiento del edificio o estructura mediante VDC una vez entregado. Una tercera es la relación entre constructora y cierto número acotado de subcontratistas, la cual responde tanto a la inclusión de estos últimos en esta fase temprana de diseño para el aporte de su especialización que ayude a una mejor definición del proyecto como a que estos puedan comenzar a aportar sus necesidades respecto a la gestión VDC e información intrínseca sobre su especialidad dentro del modelo

BIM. Para ilustrar esta última relación, considérese un edificio en el que se va a instalar un sistema de muro cortina. La inclusión de este subcontratista especializado en esta fase de proyecto básico conllevaría que, puede aportar la información especializada necesaria al diseñador para poder definir a nivel de diseño las fachadas de muro cortina y puede incluirse en el proceso de elaboración de gestión VDC aportando información sobre, por ejemplo, el nombramiento de paneles y elevaciones para una mejor gestión o requisitos sobre acopio o medios auxiliares para la instalación.

En este punto, sería muy conveniente la creación de un equipo de gestión VDC que represente las distintas partes que van a intervenir en dicha gestión. Dicho equipo, tendría como objetivo común la alineación del modelo BIM con las necesidades VDC y estaría compuesto de forma directa por profesionales BIM/VDC por parte de arquitectos, ingenieros, constructora, subcontratistas con especialización y, de forma indirecta a través de la mediación de la constructora, de otros subcontratistas, fabricantes y proveedores de medios auxiliares. La principal función de cada integrante es la de canalizar la información que le corresponde hacia o desde la estructura a la que pertenece, es decir, un especialista VDC representando al constructor dentro del equipo será responsable de canalizar la información que le compete al constructor, al igual que al resto de integrantes a sus respectivas organizaciones. De este modo, en el resto del apartado 13, cada vez que se hace referencia a las relaciones de los agentes constructivos en lo que metodología VDC se refiere, estas relaciones se refieren a su gestión por parte de los pertenecientes a este equipo³.

En la etapa de elaboración del proyecto de ejecución es importante dos aspectos. El primero es el continuar con el desarrollo y asentamiento final de las relaciones que se han comenzado en la fase anterior de proyecto básico de modo que se pueda llegar a este punto con una estructura básica de colaboración. El segundo es la completa adecuación del proyecto de ejecución a las necesidades de gestión VDC. En este sentido, y continuando con el ejemplo de muro cortina anterior, el subcontratista podría incluir su propio modelo BIM integrado dentro del modelo del arquitecto con la información necesaria para sí mismo, en

³ Se intenta por parte del autor no hacer referencia continua a este paso intermedio para mejorar la comprensión del lector.

lo que a sus necesidades de fabricación y posterior instalación se refiere, y la información que otros agentes pueden requerir en este punto o en más adelante, como localización del elementos de anclaje en la estructura de hormigón para el calculista y el estructurista, plazos de fabricación, entrega e instalación o costes, entre otros.

13.2. Fase de preconstrucción

En esta fase, en la que se prevé que se ejecuten contratos entre el contratista y los subcontratistas además de generar una planificación de la posterior construcción, se crea un paso importante como es el de la finalización modelo BIM como herramienta de diseño para dar paso al uso de dicha herramienta para la gestión del proceso constructivo. De este modo, la gestión del proceso VDC recae en el contratista en detrimento del arquitecto, entendiendo que cualquier modificación del modelo BIM seguirá siendo responsabilidad del arquitecto, pero la gestión de la información que se irá añadiendo para la gestión constructiva será responsabilidad del constructor. Cabe destacar que esta es una fase con una relativa corta duración, pero con una generación de información muy grande donde se involucran la práctica totalidad de los agentes a intervenir y que, además, tiene un sesgo de relevancia crítica por definir el coste final del proyecto y los plazos de ejecución y entrega.

Consecuentemente, el constructor en esta fase debe coordinar la información, tanto propia como de subcontratistas, que se genera respecto a la planificación y coordinación de tiempos de ejecución, presupuestos parciales y totales, implantación de medios auxiliares, acopios o coordinación de pruebas e inspecciones. Además, debe ser el responsable de dirigir las posibles modificaciones del modelo BIM al arquitecto que se vean necesarias tras el estudio de este por parte de subcontratistas y de sus propias apreciaciones. Al final de esta fase, se hace necesario que el modelo BIM quede definido completamente tanto en el aspecto de diseño respecto a las modificaciones necesarias como con la información indispensable para el comienzo de la fase siguiente de construcción.

13.3. Fase de construcción

Esta fase queda muy marcada por la calidad del trabajo realizado tanto en la fase de diseño como preconstrucción. En ella, la figura del constructor, al igual que en la preconstrucción, se convierte en un agente continuo de gestión de información de distintas las fuentes, pero,

en este caso, en lo que al desarrollo constructivo se refiere. El control de costes, cambios en la planificación, seguimiento de ejecución y control de seguridad y medios auxiliares, entre otros, exige por parte del contratista tanto de un control sobre la información que subcontratistas realizan sobre el modelo BIM al que colaboran, como un esfuerzo por mantener la información que los demás subcontratistas proporcionan dentro de la gestión VDC del modelo BIM. En el apartado 14.3 se verá con más detalle el impacto positivo que tiene este esfuerzo.

Para la correcta gestión en esta fase más larga, es importante generar hitos temporales que permitan hacer recopilación y análisis por parte de los distintos agentes y así poder reconducir desviaciones o errores de la información que permitan una continuación óptima de la gestión y, por ende, de la construcción en sí misma. Estos hitos dependen de las características de cada proyecto en particular, pero es interesante que sean coincidentes con agentes de importancia que terminan la colaboración en el proyecto, como estructuristas o subcontratistas de instalaciones, que, por su importancia, la información que han podido generar puede ser relevante para la continuación de la construcción y su gestión, por lo que es conveniente realizar, mediante este tipo reuniones de cierre, una puesta en común de la información generada hasta ahora.

También en esta fase, se debe tener en cuenta los requerimientos que la fase posterior de uso y mantenimiento va a requerir, por lo que se debe tener una especial atención a que toda la información que se genere y sea susceptible de llegar a ser de necesidad en tal fase, sea gestionada y recopilada de tal modo que a la entrega de obra se transmita en los términos que el usuario final requiere.

13.4. Fase de uso y mantenimiento

Tras la entrega del elemento constructivo al usuario final, se da el segundo trasvase de información por parte de un agente central a otro. En este punto, el usuario final, debe cerciorarse de que la entrega del modelo BIM con toda la información que el constructor ha añadido durante la gestión de la construcción coincide con las necesidades que prevé se le plantearán durante su gestión. Tras este primer paso, el usuario final debe realizar una labor mixta entre el diseñador y el constructor, añadiendo al modelo BIM los cambios adiciones

que se vayan realizando durante el transcurso de vida útil, además de la coordinación de la información con otros agentes que puedan colaborar durante esta fase.

13.5. ICE-Integrated Concurrent Engineering

De forma recurrente, durante todo el apartado 13 se ha hecho referencia a la necesidad de colaboración por parte de los distintos agentes intervinientes en cada fase del proyecto constructivo. Para ello, ha sido conveniente el establecimiento reuniones en puntos temporales específicos. Aunque el objetivo general de todas estas reuniones es el de mantener un seguimiento del proceso VDC aplicado al proyecto y cada una de ellas tiene sus propias particularidades y necesidades específicas, es conveniente tener una referencia sobre el formato y la estructura deben tener, independientemente del contenido.

En este sentido, podría considerarse al ICE (*Integrated Concurrent Engineering*) como un formato a seguir para este tipo de reuniones. Como su propio nombre indica, su intención es que el desarrollo de diseño sea integrada y simultánea. Siendo la industria aeroespacial y automovilística las pioneras en desarrollar este tipo de estructura para las sesiones conjuntas entre distintos intervinientes de un proyecto, las ICE⁴ se componen de: a) un grupo de experto; b) con modernas herramientas de modelado, visualización y análisis; c) usando métodos ágiles de comunicación y d) instalaciones especializadas para el diseño de sistemas complejos que permiten reducir los plazos temporales de un proyecto y los costes de diseño y manteniendo los niveles de calidad. La intención de las ICE es la de comprimir las tareas multidisciplinares gracias al trabajo simultáneo y coordinando los esfuerzos durante estas sesiones de trabajo en paralelo (26).

Para ilustrar una sesión ICE imagínese una sala con distintas estaciones de trabajo que se conectan a una red o a la nube, en la que en cada estación se encuentran un equipo del arquitecto, otro del ingeniero de estructuras y otro del equipo de ingenieros de instalaciones, todos ellos totalmente familiarizados con el proyecto. Además, existe una pantalla visible en todo momento en la cual todos los equipos de trabajo pueden exponer y, a la misma vez, ver lo que los demás exponen de sus respectivos modelos BIM. Para coordinar los esfuerzos de esta ICE, existe un coordinador especializado en otra estación de

⁴ En adelante, el autor hace referencia a "ICE" como "reuniones con estructura ICE".

trabajo que recopila en tiempo real cada elemento de los equipos de trabajo para exponer el resultado conjunto y, además, está presente el director del proyecto que es el que toma la decisión última. El objetivo de la sesión, entre otras cosas, es coordinar los montantes y bajantes de agua a través de la estructura. De este modo, ingeniero, arquitecto y estructurista aportan sus modelos BIM para ponerlos en conjunto e, in situ, se van poniendo de relieve las discrepancias de proyecto. De este modo, se pueden ir tomando decisiones para solucionarlas en el momento y dejarlas plasmadas al mismo tiempo en los respectivos modelos BIM.

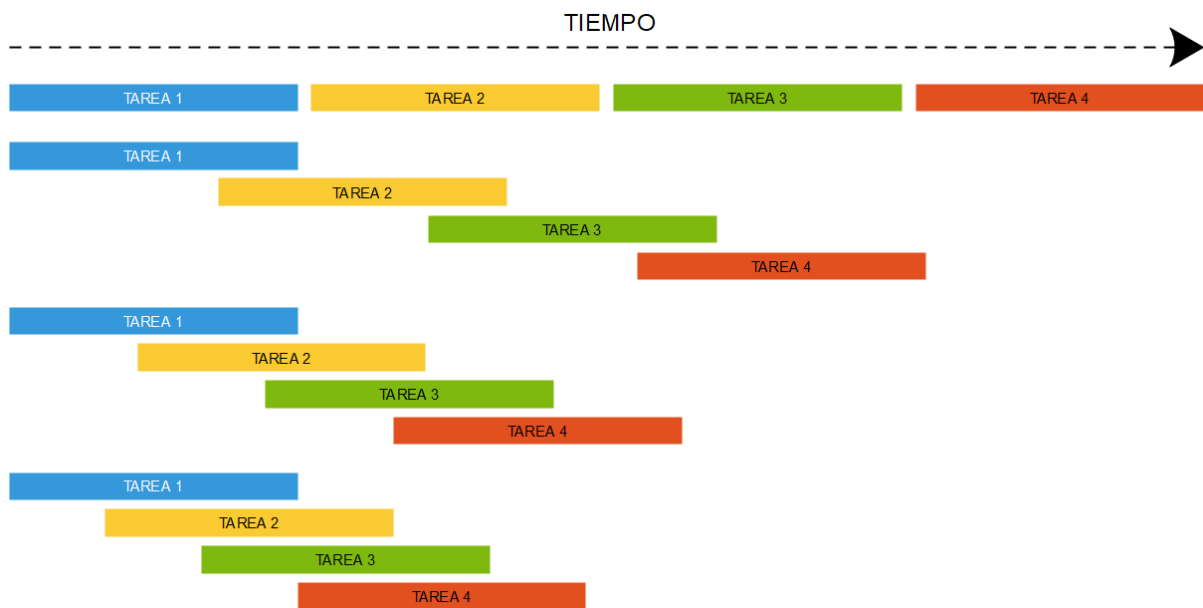


Figura 23 Comparación en tiempo del trabajo en paralelo (Fuente: autor)

Si bien es cierto que el sector de la construcción difiere de otros en sus métodos de diseño y fabricación, partiendo de los elementos anteriores se puede realizar un marco que sirva como estructura de las ICE planificadas durante un proyecto de construcción. Un primer paso, sería definir los distintos tipos de ICE para cada fase del proyecto constructivo. Tomando como referencia el marco temporal lineal de los apartados 13.1 a 13.4, se pueden dividir las ICE como se muestran en la Figura 24.

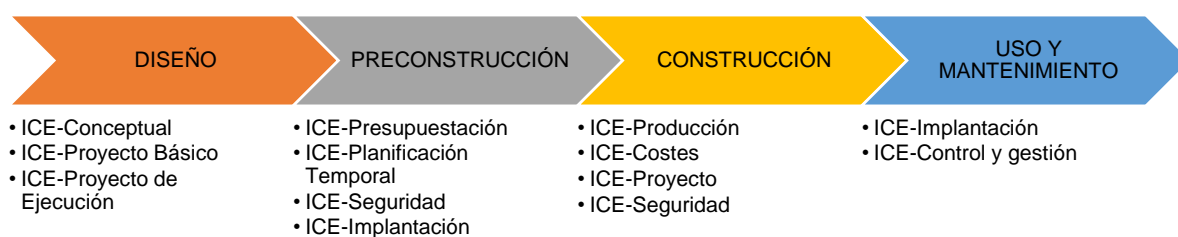


Figura 24 Propuesta ICE (Fuente: autor)

Una vez se tienen identificadas las ICE, se deben programar temporalmente siempre teniendo en cuenta una inicial, una final y tantas intermedias como se crean necesarias sin que ello sea óbice para que, durante el transcurso de la propia fase o etapa se puedan incluir, mover o eliminar conforme a lo que se crea necesario.

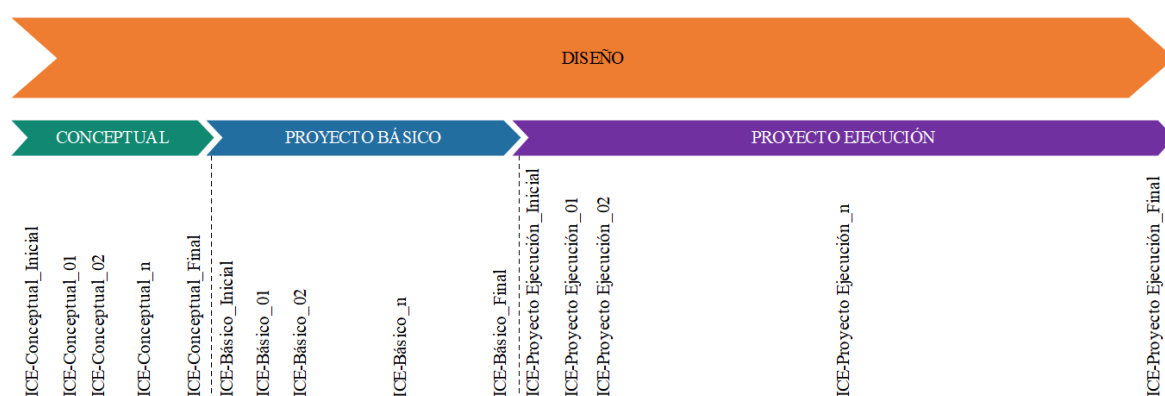


Figura 25 Programación ICE Fase Diseño (Fuente: autor)

Para todas las ICE, se debe tener en cuenta una estructura básica, la cual permita a priori tener claro a todas las partes la forma de trabajo, las partes involucradas y los objetivos y plazos a alcanzar. Una estructura de trabajo estudiada con resultados positivos (26) es la de un grupo de trabajo con una representación de los distintos agentes que están implicados coordinados por un facilitador y con la valoración de una figura de toma de decisiones.

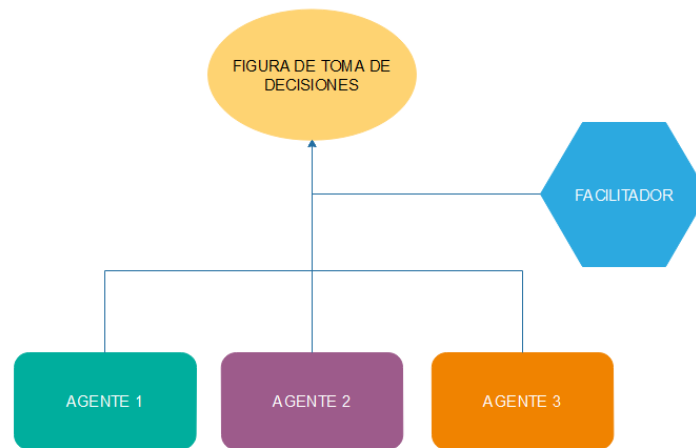


Figura 26 Estructura Básica ICE (Fuente: autor)

A partir de esta estructura básica se deben configurar individualmente para las distintas etapas durante toda la ejecución del proyecto. En la etapa de diseño conceptual, la figura de toma de decisiones debe recaer en un responsable del proyecto, probablemente parte del equipo del arquitecto con comunicación directa con el promotor, la figura del facilitador la puede desempeñar un coordinador BIM/VDC⁵ y como agentes intervinientes, dependiendo de las características del proyecto pueden estar representadas por distintos especialistas BIM de los equipos de diseño de arquitectura, paisajismo y/o urbanismo, entre otros. En las etapas de proyecto básico, además, se incluirían a la estructura anterior un especialista VDC por parte del constructor principal, especialistas VDC de subcontratistas con una participación importante en el diseño del proyecto y especialistas BIM de fabricantes que tuvieran un papel relevante.

⁵ Las figuras como coordinador, especialista o director BIM o VDC se abordan en profundidad en el apartado 15.8.

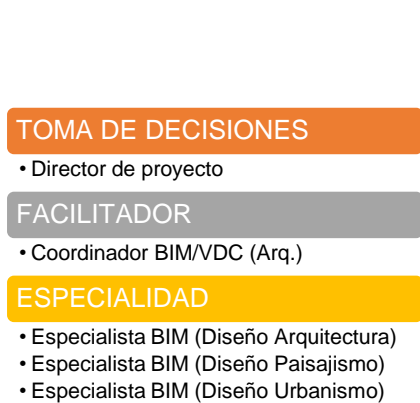


Figura 27 Estructura ICE Etapa Diseño Conceptual (Fuente: autor)



Figura 28 Estructura ICE Etapas Proyecto Básico y Constructivo (Fuente: autor)

Continuando con la fase de preconstrucción, a partir de esta fase hasta el final de la fase de construcción es conveniente para todas las ICE mantener las mismas figuras de toma de decisiones y facilitador siendo estas realizadas por un director de obra y un coordinador VDC, ambos pertenecientes a la constructora principal. En las ICE de preconstrucción, como agentes intervinientes se encontrarían especialistas VDC de distintas subcontratistas y un especialista VDC de la constructora que pudiera encauzar la información de subcontratistas que no tuvieran la adecuación a esta metodología.

Durante la fase de construcción, en las ICE de proyecto se deben incluir en todo momento a las figuras vinculadas al proyecto de diseño con el fin de poder realizar en el modelo BIM las actualizaciones necesarias que vayan surgiendo durante el transcurso de la construcción y deberán incluirse aquellos subcontratistas que puedan tener relevancia o haber tenido un papel en la fase de diseño. En las restantes ICE de producción, coste y seguridad están enfocadas fundamentalmente a la relación entre el constructor y los subcontratistas, sin que por ello no se deban incluir puntualmente a arquitectos, ingenieros u fabricantes que puedan aportar soluciones en algunas situaciones concretas. Adicionalmente, durante la evolución normal de la fase de construcción, se deberán ir incluyendo y descartando en las

sucesivas ICE subcontratistas que vayan a o hayan dejado de tener una función, de modo que dichas ICE se vayan adaptando a la evolución de la construcción.



Figura 29 Estructura ICE Proyecto
(Fuente: autor)



Figura 30 Estructura ICE Producción,
Costes y Seguridad (Fuente: autor)

La última fase, la de uso y mantenimiento, viene marcada por una ICE inicial de implementación VDC y las subsiguientes ICE de control y gestión. La primera etapa, siendo de una importancia por ceder el control del modelo BIM y la información hasta ahora generada, se plantea en unos términos en los que la figura de toma de decisiones venga dada por un director de gestión por parte del usuario final y el facilitador, por su dilatada experiencia con el modelo BIM y la información generada, es recomendable que siga siendo la figura de coordinador VDC de la constructora. Además, se debe considerar la inclusión de los especialistas de diseño, ingenierías, constructor, subcontratistas especializados y fabricantes relevantes. La última etapa, siendo esta un continuo durante la vida útil del edificio o infraestructura, requerirá en cada momento de la inclusión de participantes que sean acordes a la naturaleza de la intervención a realizar.



Figura 31 ICE Implantación



Figura 32 ICE Mantenimiento General



Figura 33 ICE Intervención Importante

Por ejemplo, para rutinarias labores de mantenimiento de instalaciones, la presencia de subcontratistas especializados y, en su caso, algún fabricante, además del director de mantenimiento y del especialista serán probablemente suficiente. Sin embargo, a la hora de acometer ciertas intervenciones de envergadura como una rehabilitación parcial, se debe considerar además la inclusión de especialistas del departamento de diseño o de ingeniería involucrados en dicha intervención.

14. Necesidades y responsabilidades de los distintos agentes constructivos específicos para un entorno BIM/VDC

En este apartado, se definirán los puntos generales identificados en el apartado 11. respecto a cada agente constructivo en un entorno BIM/VDC. De esta manera se podrá tener una visión del rol que cada agente tiene en todo el proceso, sus responsabilidades, los retos a los que se puede enfrentar y las oportunidades de mejora que se le presentan.

14.1. *Fabricantes*

Los fabricantes son una parte esencial para que la información sea suficiente en todo el ciclo constructivo desde el principio. Actualmente, la información que aportan a sus productos suele estar enfocada mayormente a una labor comercial y a la creación del modelo de diseño. Básicamente, lo que parte de los fabricantes han hecho es añadir parte la información que hasta ahora generaban en los modelos BIM que ofrecen a los diseñadores para la generación del proyecto arquitectónico. Si bien esto ya es un paso adelante, es a todas luces insuficiente.

Obviamente, los modelos de los fabricantes deben ser modelos BIM para implementar en el modelo BIM arquitectónico y, a partir de ahí, se debe ir añadiendo información y funcionalidades a dichos objetos que permitan cubrir todas las necesidades futuras respecto al uso de estos modelos mediante la metodología VDC. Se deben considerar dos supuestos básicos respecto la perspectiva de los fabricantes que son, los productos que se fabrican ad hoc para un proyecto concreto como pueden ser puertas, ventanas, muros cortinas, cocinas, elementos estructurales prefabricados, etc., y productos que se manufacturan directamente para su instalación tal cual, como interruptores eléctricos, máquinas de aire acondicionado, ascensores, luminarias, interruptores eléctricos, electrodomésticos, etc. Esta diferenciación es importante porque la información en el primer caso tiene un sentido de ida y vuelta y en el segundo sólo tiene un sentido de ida.

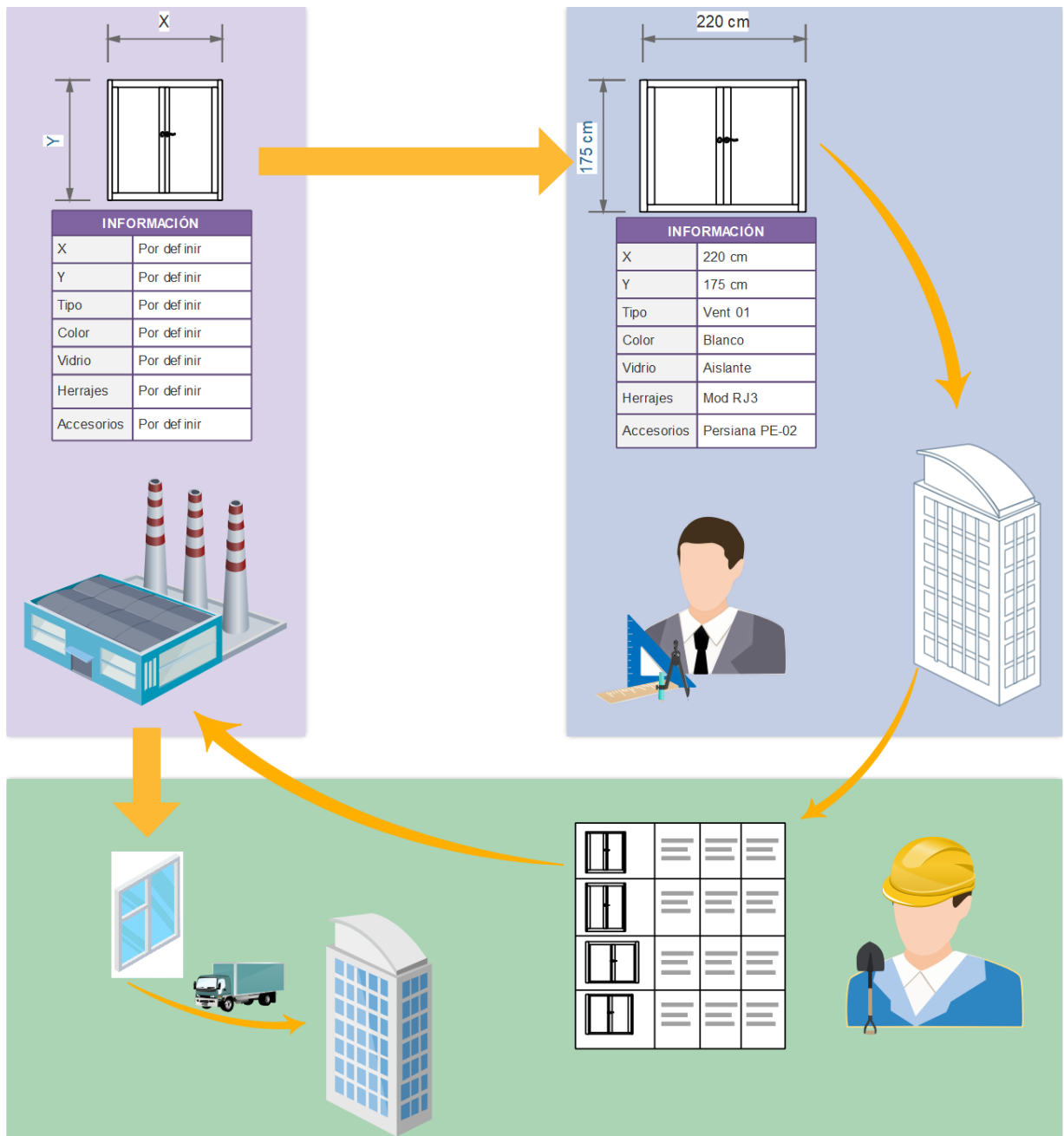


Figura 34 Ciclo de la información en modelos BIM sin definir desde fabricación (Fuente: autor)

En el primer caso, como se puede observar en la Figura 34. al tener el fabricante que comenzar su proceso de fabricación de los productos tras haber pasado por distintas fases e intervinientes, es conveniente para él mismo que, por un lado, sus modelos puedan quedar definidos de la forma más exacta por parte del arquitecto o ingenieros en la fase de redacción del proyecto y, por otro lado, que pueda recibir dicha información para fabricación de la forma más conveniente y de la fuente más a origen posible. Es decir, idealmente, un fabricante debería poder recibir el modelo BIM del arquitecto con todos los elementos de fabricación definidos y con la información que contratistas y subcontratistas

requieran para la ejecución de la obra, como planificación de instalación, plazos de entrega, formas y espacios de acopio, etc. De este modo, el fabricante recibe una única fuente de información que es más veraz y contrastable y, además, el formato de modelo BIM en la que la recibe le permite aplicar sus propias metodologías VDC que le permiten agilizar y aumentar la productividad en su proceso de fabricación.

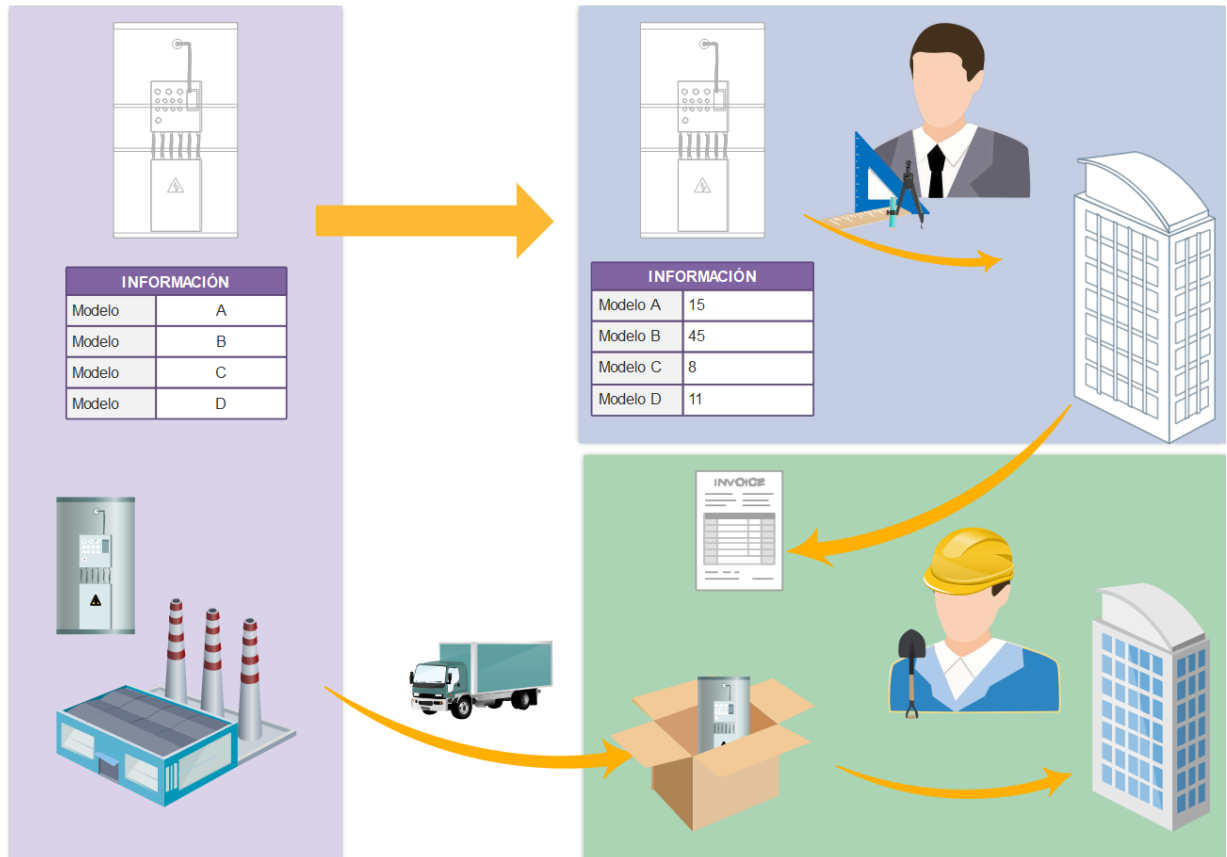


Figura 35 Ciclo de la información en modelos BIM definidos desde fabricación (Fuente: autor)

En el segundo caso, Figura 35, el fabricante, respecto a la consecución de la ejecución de la construcción, no va a ser un interviniente al uso, por lo que la mayor parte de su labor se va a comprender, en lo que a información para la construcción se refiere, a etapas anteriores a esta.

En ambos casos los fabricantes deben generar modelos que se adecúen a las necesidades tanto de información BIM como VDC, pero es especialmente crítico que, para los fabricantes que entran dentro de las características del primer caso que, por un lado, entren dentro de la planificación para que sus necesidades de fabricación dentro del proceso VDC sean consideradas por parte de los otros agentes y que, por otro lado, la generación de sus

modelos BIM se adecúen a todo el proceso de manera que la información que les es devuelta para comenzar su fabricación esté en un formato que le permita aumentar tanto su productividad en particular como la del proyecto constructivo en general. A continuación, se describen un par de ejemplos hipotéticos sobre distintos niveles de integración entre la metodología VDC y los procesos de fabricación para un hipotético fabricante de ventanas.

Partiendo del supuesto que, en lo que al proyecto constructivo se refiere, todos los demás agentes involucrados (arquitectos, ingenieros, contratistas y subcontratistas) están integrados dentro de un sistema de gestión VDC del proyecto. Un primer nivel de integración por parte del fabricante sería adecuar sus productos para poder definir completamente el modelo arquitectónico y que, además, tuviera información y funcionalidades adecuadas para poder ser parte de la gestión VDC en los procesos de preconstrucción, construcción y uso y mantenimiento. De este modo, el fabricante de ventanas, una vez provee de sus modelos BIM al arquitecto, este los incluye sin mayor dificultad en el modelo arquitectónico BIM ayudándolo a definir el proyecto, realizar análisis como eficiencia energética, adecuación a normativas de seguridad, entre otras cosas. Contratistas y subcontratistas son capaces, gracias al modelo arquitectónico BIM que incluye estos modelos del fabricante, a generar mediciones y presupuestos, gestión de acopios en obra, planificación de pedidos y entregas, etc. Y, un último punto, el usuario final, puede acceder a información sobre su mantenimiento y características, como reemplazo de herrajes o vidrios, a través de los mismos modelos. Hasta ahí, el fabricante ha cumplido una misión externa de entrar a favorecer la productividad mediante VDC. Ahora, la labor del fabricante será la de recibir los planos de carpintería por parte del arquitecto los cuales definen sus productos, atender a las peticiones de contratistas y subcontratistas en lo que a modos y plazos de entrega se refiere y comenzar su labor de medición de materiales y piezas, tras ello, pedidos a fabricantes de perfiles metálicos, vidrio y herrajes, planificación de corte de piezas y ensamblaje y, tras todo ello, el comienzo de corte y ensamblaje de las ventanas como producto final.

Ahora bien, un nivel superior al que un fabricante puede aspirar es el de la utilización de sus propios modelos dentro del proyecto arquitectónico definido para la planificación y desarrollo de su propia labor de fabricación. Si se considera que los modelos de ventanas, una vez revisados por él mismo, son válidos para la fabricación, el fabricante, con una

estructura VDC que aúne estos modelos con la fabricación, será capaz de extraer de la información necesaria que le permita la generación automática de todos los materiales para su compra, la planificación de los cortes de perfiles de aluminio e incluso la automatización de estos cortes y la planificación e, incluso, la simulación del proceso de acopio, ensamblaje de las ventanas. Se puede decir que, el fabricante, puede aumentar en gran medida su productividad al beneficiarse de la estructura VDC de los proyectos a los cuales tiene que proveer sus productos si integra en su propia estructura de fabricación una gestión similar a la metodología VDC.

En cualquier caso y de modo general, es necesario que los fabricantes estén en constante comunicación con constructoras, subcontratistas y propietarios con el fin de entender sus necesidades e ir desarrollando los modelos BIM con la información que todos los agentes intervinientes demandan y, además, que puedan hacer una mejor integración en la metodología VDC que les permita ser más productivos ellos mismos.

14.2. Arquitectos e ingenieros

Las funciones, tanto de arquitectos como ingenieros, respecto a la implementación VDC se basan fundamentalmente en la correcta y suficiente definición del proyecto, obviamente no sólo respecto en su faceta arquitectónica y constructiva, si no en la faceta de gestión en las fases de preconstrucción, fabricación de elementos constructivos, construcción del proyecto y el uso y mantenimiento del producto final. En este sentido, los diseñadores del proyecto, para generar el modelo constructivo, deben usar tanto modelos de elementos constructivos creados por los fabricantes, así como generar modelos propios de los elementos más genéricos. Si bien en el primer caso los diseñadores no son los responsables últimos de la adecuación de los modelos, sí deben actuar como garantes de la calidad de estos, ya que en última instancia van a ser estos los que los utilicen para la generación del modelo constructivo final. En el caso de los elementos de creación propia, sí que son ellos mismos los responsables, por lo que, como se ha comentado, deben adecuar dichos modelos a las necesidades presentes y futuras en lo que a gestión VDC se refiere.

Un aspecto muy importante que considerar es que los diseñadores, al ser los que generan el modelo constructivo principal, son los encargados en todas las fases hasta la entrega de la construcción al usuario final de aprobar y gestionar los cambios en el modelo que se

requieran por parte de los otros agentes constructivos para la óptima gestión del proyecto por medio de la metodología VDC. Esto quiere decir que, por ejemplo, si durante la fase de construcción, el contratista principal cae en la cuenta que en el modelo BIM del arquitecto, el fabricante de rociadores de sistemas contra incendio no ha indicado en sus propios modelos BIM el radio de dispersión de agua de los mismos y, por ello, va a dificultar la realización de las inspecciones pertinentes, las cuales se podrían realizar directamente sobre el modelo BIM usando la metodología VDC, el contratista principal puede requerir que el fabricante actualice sus modelos incluyendo dicha información, sin embargo, esta actualización debe ser autorizada y gestionada por los diseñadores del proyecto constructivo garantizando en todo momento la integridad tanto del proyecto arquitectónico como del modelo BIM.

Desde una perspectiva más práctica, y más teniendo en cuenta que VDC se encuentra en fases muy tempranas de su implementación en la industria, los diseñadores deben ser capaces de suplir cierta cantidad de información VDC sobre elementos constructivos que, o bien los propios fabricantes no han sido todavía capaces de incorporar mediante los modelos BIM, o bien es información que simplemente queda definida en los pliegos de condiciones o fichas técnicas de los fabricantes, la cual, al no estar incluida dentro del modelo constructivo BIM, queda desvinculada del proceso de gestión VDC. Se debe tener muy en cuenta que, en lo referente a la información en el modelo BIM, tanto arquitectos como ingenieros juegan un rol muy importante respecto a la implementación de metodologías VDC. Considerando que la unificación de información en el modelo BIM para una correcta gestión del proyecto es una de las partes fundamentales de VDC, la inclusión por parte de los diseñadores de la información técnica, económica e incluso contractual en los modelos debe comenzar a dar sus primeros pasos haciendo cada vez menos necesaria la inclusión de documentación anexa que hasta ahora es la norma. En este sentido, cada vez se hace más necesario que los desarrolladores de herramientas de gestión de modelos implementen nuevas formas estandarizadas para que los modelos puedan ser fiables y contrastables en lo que a la información sensible se refiere. Del mismo modo que un arquitecto firma y visa su proyecto o se redacta un contrato entre dos partes para la ejecución de una obra, se deben crear formatos digitales en los cuales los intervinientes en un proyecto de construcción puedan estar de acuerdo con un modelo BIM y su información

intrínseca y este sirva como una especie de contrato entre las partes para la ejecución de este.

Bien es verdad que no se puede pedir que los diseñadores tengan la capacidad de prever todas las necesidades presentes y futuras de todos los agentes intervinientes, sin embargo, se debe considerar la implementación de la gestión VDC por parte de estos como un trabajo tanto de equipo con los demás intervinientes que puedan colaborar en el proyecto actual para que la gestión VDC sea un hecho, como también un trabajo propio progresivo en el cual, a través de su faceta como generador del modelo constructivo principal, sea un agente de cambio para los demás agentes a realizar los cambios necesarios para que la implementación de la metodología VDC sea mejor en cada sucesivo proyecto.

14.3. Constructora

El constructor es quizá el que más se debe involucrar, y a su vez se puede beneficiar, de la implementación de la metodología VDC. Una de las consideraciones más importantes, es la necesidad de que el constructor establezca desde la fase más temprana posible, sobre todo al equipo de diseño, pero también a fabricantes y subcontratistas, en lo que el modelo arquitectónico y elementos constructivos de fabricantes se refiere, las características mínimas que estos modelos deben cumplir e incluir para la correcta gestión de la construcción del proyecto mediante la metodología VDC.

El constructor, como figura central en la fase de construcción de un proyecto, cumple un rol central en dos facetas muy importantes. La primera es el establecimiento de los principios de la gestión VDC durante la construcción para sí y para los distintos subcontratistas, equipo de diseño y fabricantes. La segunda es la coordinación y el control del flujo de información hacia distintos agentes, principalmente subcontratistas, durante la fase de construcción.

Aunque, dependiendo de las características del proyecto constructivo, la forma de gestión VDC puede variar en contenido, el contratista debe asegurarse que en el modelo arquitectónico que recibe contiene la información necesaria y tiene el formato óptimo para poder realizar desde el mismo modelo gestiones como mediciones de prácticamente todo el proyecto, análisis de interferencias entre elementos de distintos elementos (lo que

anteriormente se ha identificado como *Clash Detection*), planificación de obra y simulación de ejecución, proyección de costes y comparativa a coste real, implantación de medios auxiliares y planificación de acopios y vías de acceso y circulación, entre otros muchos. Teniendo en cuenta todo esto, el constructor es capaz de establecer los criterios necesarios que el modelo debe cumplir para cada una de las funciones. A continuación, se plantean algunos ejemplos prácticos sobre las distintas gestiones anteriores y cómo el contratista puede adelantarse a sus necesidades dirigiéndose al responsable y en el momento adecuados.

Para una gestión de las mediciones y presupuestos adecuada, es conveniente que los elementos del proyecto arquitectónico se presenten con los parámetros y unidades adecuadas para tal efecto. Por ejemplo, si se necesita realizar las mediciones de metros cúbicos de hormigón por planta, es conveniente que, desde el modelo del proyecto, cada elemento estructural de hormigón disponga de parámetros como el tipo de hormigón a utilizar y el volumen en metros cúbicos, de manera que se pueda realizar mediante filtros las mediciones exactas por planta, tipo de hormigón y tipo de elemento (pilar, forjado, losa, muro pantalla, etc.). Considerando esto, el constructor puede dirigirse durante la fase de redacción del proyecto a los diseñadores y fabricantes para que en sus modelos puedan incluir dicha información en los términos que el constructor estime oportuno.

Respecto a lo que se denomina *Clash Detection*, es importante que los elementos estén definidos de una forma correcta en lo que a dimensiones e identificación se refiere. Por ejemplo, si se quiere analizar en un proyecto que las conducciones de agua siempre queden por debajo de las de electricidad, se deben tener bien identificadas mediante parámetros para poder aislar dichos elementos y hacer, bien un análisis visual en el modelo o bien usando el software adecuado. Del mismo modo, si se necesita analizar si existe en el proyecto alguna conducción de agua, electricidad o aire acondicionado que interfieran entre sí o entre la estructura o particiones interiores, es imprescindible, no sólo que puedan ser identificadas mediante los parámetros correspondientes, sino que, además, su geometría y posición en el modelo se corresponda con su geometría y posición real en obra para que se puedan realizar dichos análisis con fiabilidad. El contratista, durante la fase de redacción de proyecto, puede requerir estas disposiciones a los diseñadores para que el modelo cumpla con estos estándares.

Para la planificación de obra y las simulaciones, es conveniente, por ejemplo, que los modelos dispongan de parámetros que puedan ser de uso exclusivo para el contratista durante las fases de preconstrucción y construcción, como la inclusión en los modelos de la fase de ejecución; fecha de inicio, final y duración estimada de ejecución; subcontratista y supervisor asignado a dicho elemento o su test a ejecutar, entre otros muchos. Con estas características, se es capaz de hacer una planificación y simulaciones de diversa índole, como planificar para cada subcontratista su tiempo estimado durante la ejecución de la obra; hacer un análisis visual en el modelo de la interacción por planta o por grupos de elementos de las instalaciones de electricidad y las particiones interiores; una visualización del desarrollo de la construcción en cualquier momento futuro para estimar el inicio, final y duración de andamios y grúas; o una planificación de los test a realizar. En este sentido, las posibilidades son enormes y casi ilimitadas, dependiendo siempre en gran medida, de la capacidad de la constructora en general, y del técnico o técnicos de esta en particular, de poder visualizar las oportunidades futuras de este tipo gestión y canalizar los esfuerzos de los distintos agentes en esta dirección.

Para la gestión económica de la construcción, es importante, además de la correcta identificación de los modelos, que estos dispongan también de parámetros que le permitan conocer la trazabilidad económica del mismo durante la ejecución del proyecto y, además, pueda exportar esa información para un análisis en global como empresa constructora. Un escenario deseable, sería que los modelos incluyeran el precio de mercado, el precio de adquisición y el coste real final. De este modo, el constructor puede, tanto realizar simulaciones futuras de costes, como análisis a posteriori de productividad y, a mayor escala, realizar análisis globales de producción y análisis cruzados del mismo tipo de elementos en distintos proyectos de ejecución. Para ello, es necesario que los modelos de fabricantes incluyan tanto precios como dichos parámetros y que en los modelos de los diseñadores puedan ser incluidos también.

En lo que a implantación de medios auxiliares y planificación de acopios se refiere, la visualización y simulación en 3D son un excelente aliado para la gestión. Para ello, es imprescindible que ambos proveedores ajusten sus modelos distintas necesidades. Por ejemplo, en el caso de un proveedor de andamios, es muy útil que el mismo proveedor sea capaz de integrar dentro del modelo, su propio modelo del andamio a instalar incluyendo

las fases de montaje y desmontaje, de modo que la constructora puede realizar simulaciones de la interacción del mismo con los distintos subcontratistas, además de incluir los puntos de anclaje al edificio, los cuales pueden ser revisados por el estructurista, o el coste del mismo con el fin de ser incluido en la simulación del coste de la construcción en general. En lo que acopio de materiales se refiere, tomando como ejemplo un proveedor de ladrillos cerámicos, la inclusión por parte del fabricante de los parámetros anteriormente mencionados para planificación, además de aportar información e incluso un modelo sobre el formato de entrega en obra, permite hacer una simulación en 4D sobre el espacio de acopio en obra visualizada en el tiempo y, de esta manera, poder adecuar la planificación teniendo en cuenta este factor de una forma más presente. Aunque estas dos características sobre los medios auxiliares y el acopio de materiales pueden parecer a priori poco realista, la constructora, con al menos recibir la información básica, podría ser capaz de realizar las funciones descritas anteriormente con muy poco esfuerzo, aportando de este modo más valor al conjunto de su propia gestión del proceso constructivo.

El último punto, aunque se podría extender a muchos más, es la gestión de las vías de acceso y circulación en la construcción. Aunque esta labor no requiere en principio mucha interacción de otros agentes constructivos y se circunscribe mayoritariamente a la labor a desarrollar por la propia constructora, se hace interesante, no sólo por el aporte a la seguridad en la construcción que hace, sino también a la hora de la planificación en enclaves en el que la producción de la construcción se puede ver muy afectada, bien por la falta de fluidez en el tráfico de las vías de acceso y circundantes a la construcción o bien por la falta de espacio para carga o descarga o aparcamiento de los propios trabajadores. En este caso, la simulación del tráfico por medio de herramientas como Google Maps, pueden ayudar a tomar decisiones como la idoneidad de realizar ciertas entregas de materiales o medios auxiliares de gran volumen, o la de distribuir ciertos trabajos en horarios de fin de semana o nocturnos. Por ello, la recopilación y gestión de la información vial circundante y su inclusión dentro del modelo para su gestión mediante VDC para poder contrastarla con información de subcontratistas a través de los modelos a los que están vinculados es una tarea que la constructora no debe pasar por alto y puede convertirse en casos puntuales en una gran herramienta de análisis.

Los ejemplos anteriores han servido como escenarios puntuales para que la constructora pueda prever sus propias necesidades futuras para la gestión mediante metodologías VDC del proyecto constructivo y, de este modo, desde el principio poder planificar, gestionar y comunicar a los demás agentes dichas necesidades e incluirlos en el mismo método de gestión. Ahora bien, se debe tener muy presente el segundo punto al que se hace referencia al principio de este apartado, la coordinación y la gestión del flujo de información. Durante las fases de preconstrucción, construcción y, en cierta medida, la fase de diseño, la constructora actúa como nexo entre los distintos agentes que también intervienen en el proceso constructivo. Por ejemplo, es el responsable de recopilar los costes parciales de subcontratistas y el suyo propio para ofrecer un presupuesto al promotor, proyecta la duración de la construcción respecto a lo que subcontratistas prevén individualmente, gestiona posibles problemas de materiales en la fase de construcción entre los fabricantes y los diseñadores o aglutina la información importante en lo referente a lo sucedido y lo ejecutado durante la construcción por parte de todos los intervinientes para proveer al usuario final información para el uso y mantenimiento del edificio.

En ocasiones, los subcontratistas, por su tamaño y/o importancia dentro del proceso de construcción, pueden y deben ser parte activa en la creación y/o gestión del modelo arquitectónico, por lo que su interacción, en lo que a la gestión mediante VDC se refiere, no depende en gran medida directamente del contratista. Pero este es un caso muy excepcional. Por regla general, los subcontratistas, no forman parte de una gestión integral a través de VDC, si bien eso no es un obstáculo para que ellos mismos puedan implementar su propia metodología de gestión VDC, aunque esta no está integrada en la gestión del contratista y diseñadores. Desde este escenario, para que la gestión del contratista sea completa, necesita incorporar al modelo la información que subcontratistas y fabricantes le pueden proveer durante las fases de preconstrucción y construcción. Aunque puede parecer a priori una tarea titánica, en realidad no es más que reconducir la información que, desde una gestión tradicional, ya reciben hacia un único destino que es el modelo arquitectónico y a través de un formato específico.

Desde una perspectiva más amplia, los esfuerzos de la constructora se deben centrar en intentar unificar los formatos en los que recibe la información de los distintos subcontratistas en aquellos que les permita integrarlos en la gestión que realiza mediante

VDC. Por ejemplo, desde un escenario de gestión tradicional, la constructora recibe de los subcontratistas los tiempos de ejecución de las partidas de forma heterogénea (a través de email, de viva voz, etc., y unas en horas, otras en días, etc.). Esta, tras recibir la información, la recopila y la transforma y para su gestión la convierte en una tabla de datos o la introduce en un software de gestión específico el cual únicamente le provee de una información desvinculada de cualquier elemento de visualización o cambio por parte del modelo de proyecto. Para ir paso más allá, la constructora podría requerir, quizá a través de un archivo el cual le provee o a través de una plataforma web de colaboración, que le provea de esos datos ya en el formato que a esta le interesa, ahorrándose así, el trabajo y la posibilidad de error en la transformación de los datos. Si, después de este paso, la constructora es capaz, desde una única fuente de datos, que estos se vinculen directamente a los modelos que les corresponden dentro del modelo arquitectónico, consigue una conexión sin fisuras entre los datos de los subcontratistas y el modelo con el cual puede realizar toda la planificación en vez de realizar las tareas a partir de fuentes de datos por separado, las cuales hay que modificar y actualizar por separado. Esta forma de conectar la información es un ejemplo y puede no ser la más idónea, pero el estudio de cada caso en particular y la búsqueda de mejores herramientas para conseguir mejorar dicha conexión es una responsabilidad muy importante que recae en la constructora y en la figura del VDC *Manager*. Como se puede observar, la importancia de la preparación y gestión de la información que la constructora recibe y la forma de incluirlas dentro del modelo arquitectónico es fundamental para garantizar el éxito de la gestión de esta a través de la metodología VDC.

14.4. Subcontratista

A pesar de que generalmente la figura del subcontratista cuenta con poco peso dentro de la planificación y toma de decisiones del proceso constructivo, la gestión mediante sistemas VDC abre una ventana de oportunidad para su inclusión, bien de forma directa, bien formando parte de la planificación o gestión que el contratista principal establece.

Una característica que considerar respecto de los subcontratistas es su nivel de integración tecnológica respecto a la metodología VDC. Si bien ciertos subcontratistas como instaladores de ascensores, electricistas, estructuristas pueden partir de una posición óptima para comenzar a implantar metodologías VDC, otros tantos como pintores o

albañilería es probable que, a priori, no sientan inclinación respecto a la implantación propia y su inclusión en el proceso de gestión VDC. Por ello, es imprescindible que el contratista principal, considerando estas posibles faltas de conexión directa en el proceso de gestión VDC, sea capaz y tenga la iniciativa propia para que sea él mismo el que introduzca la información de estos subcontratistas en el formato adecuado para su inclusión dentro de la metodología VDC.

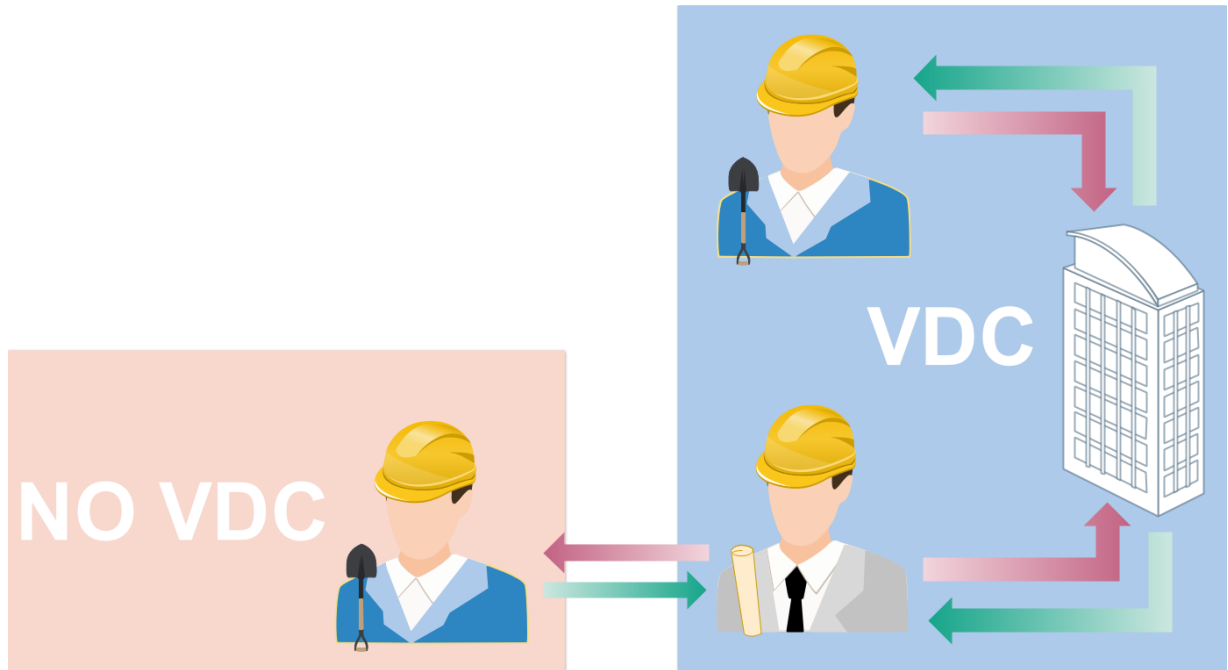


Figura 36 Flujo de información VDC/No VDC (Fuente: autor)

Dentro de la planificación y gestión de un proyecto, las áreas en las que los subcontratistas cumplen con un papel fundamental son 3: su aporte en la realización de presupuestos, su aporte en la planificación temporal del proceso constructivo y su aporte como experto en una materia para la detección de errores en proyecto. Si bien para todas ellas deben ser parte activa en una fase de preconstrucción, es también de vital importancia que, al menos de forma pasiva, los subcontratistas sigan dentro del ciclo de planificación y gestión durante las fases posteriores de construcción y de uso y mantenimiento del edificio.

Durante la fase de preconstrucción, los subcontratistas tienen la posibilidad de incluir información vital tanto de sus costes para el presupuesto final y como de tiempos de ejecución para la generación de la planificación de partidas parciales y el global de la construcción. Ambas características juntas permitirían una simulación temporal de las certificaciones parciales. Lo interesante en este punto es la forma en la que se lleva a cabo

la consecución de dicha información ya que lo que la metodología VDC consigue es que la generación de dicha información se genera a través de converger múltiples fuentes en un solo modelo BIM, el cual permite ser revisado, no sólo por el gestor principal si no por todos los intervinientes, pudiendo así realizar un análisis por todas las partes de posibles interferencias o inconsistencias. Además, la información es actualizada prácticamente en tiempo real, por lo que se produce una reducción en el tiempo necesario para la consecución de los presupuestos y la planificación.

Para ilustrarlo con un ejemplo, se puede pensar en un proyecto en el cual el modelo BIM se hace accesible para los distintos subcontratistas. A éstos, se les pide que, para los modelos y partidas que les corresponden, asignen un coste y un tiempo de ejecución e incluyan la información que estimen oportuna que pueda afectar a otras partidas o que pueda tener un impacto crítico. Partiendo de este marco de trabajo, los subcontratistas tendrían la oportunidad de, gracias a su conocimiento específico de sus respectivas partidas, revisar con detalle el proyecto pudiendo sugerir cambios por parte de los diseñadores y, además, se podrían encontrar múltiples escenarios de coordinación de la información que resultarían en un gran impacto positivo. Por ejemplo, las instalaciones podrían coordinar con el estructurista de una forma más efectiva los puntos en los que se traspasan forjados y la posibilidad de reorganizar el refuerzo estructural necesario. Se podrían coordinar de una manera más exacta las líneas de control de las aperturas en fachadas y cerramientos interiores por parte de albañilería y carpintería. Se podría realizar una coordinación de los tiempos de ejecución más ajustada al tener información más directa de las partidas implicadas. Unido a todo esto, cualquier revisión en el proyecto modifica de modo instantáneo tanto el cálculo del coste final como de la planificación temporal permitiendo a la constructora una visión general más detallada de manera casi inmediata.

La inclusión de los subcontratistas en la metodología VDC durante la fase de construcción permite la difusión de la información sobre el progreso de la construcción y los cambios en proyecto desde una única fuente, la cual puede servir como herramienta de coordinación de las partidas afectadas o en conflicto facilitando la aportación de posibles soluciones y la visualización de su posible impacto en el progreso de la construcción. Cambios en la planificación por condiciones meteorológicas, cambios de materiales que afectan a otras partidas, retrasos en entregas de materiales en partidas claves o problemas de acceso a obra

por medidas municipales es información que necesita ser directamente accesible y rápidamente entregada por parte de sus responsables para poder tomar las medidas necesarias en cada momento oportuno.

Por último, los subcontratistas deberían contribuir a la inclusión de información relevante tanto durante la ejecución de la construcción como al posterior uso y mantenimiento de este, siempre dentro de la visión de incorporar toda esa información en una gestión del elemento constructivo tras la entrega de este por parte de la constructora mediante metodologías VDC. Para ello, esta información debe ser transmitida de modo que facilite las tareas de dicha fase mediante la única fuente del modelo BIM y este pueda ser gestionado y actualizado durante la vida útil del mismo. Ejemplos de dicha información podrían ser desde la planificación temporal de inspecciones de instalaciones, inclusión de instrucciones de uso y mantenimiento de elementos o acabados o procedimientos para el procedimiento de reparaciones.

Que la información sea centralizada y accesible a todos los intervinientes del proceso constructivo es uno de los objetivos generales que la metodología VDC persigue para procurar el aumento de la productividad.

14.5. Usuario final

En primer lugar, se debe partir del hecho que el usuario final de aquello que se construya va a tener una relación con el mismo de una forma diferente a los otros distintos intervinientes ya que esta va a ser más dilatada en el tiempo y responde a unas motivaciones diferentes. Al ser este el que sufraga todos los costes de la construcción, se le debe tener una consideración aún más importante y se deben prever tanto sus necesidades futuras, como acciones de mantenimiento y reparación, así como sus posibles objetivos a medio o largo plazo, como la posterior venta tras su rendimiento económico o su transformación para el encaje en un nuevo entorno urbanístico diferente, por ejemplo.

Para conseguir estos objetivos, se debe partir de las tres fuentes de información de las cuales el usuario final debe nutrirse. Su principal fuente de información debe ser aquella aportada por la constructora. Ello se debe a que esta es la que acapara la mayor parte de la información y la usa para gestionar lo que en un proyecto de ejecución se plasma. Se podría

caer en la tentación de pensar que usar la información directamente proporcionada por el equipo de diseño sería más que suficiente, al fin y al cabo, el proyecto refleja lo que se va a construir, pero se omitiría la gran cantidad de información generada durante la fase de construcción que altera el proyecto original e, incluso, podría dejar en ciertos casos obsoleto algunos aspectos fundamentales.

Actualmente, es muy habitual que, por ejemplo, las instalaciones de un edificio se encuentren interferencias con elementos estructurales o arquitectónicos y que se apliquen correcciones ya en la fase de estudio del proyecto por parte de la constructora o, en el peor de los casos, ya durante la fase de construcción, que se pueden reflejar, o no, en adendas al proyecto pero no dentro del modelo de diseño, por lo que dicha información no estaría disponible, al menos de forma clara e inmediata, al alcance del usuario final. Por ello, es fundamental que la constructora aporte toda la información que, partiendo del proyecto original del equipo de diseño, ha sido fundamental para el desarrollo de la construcción.

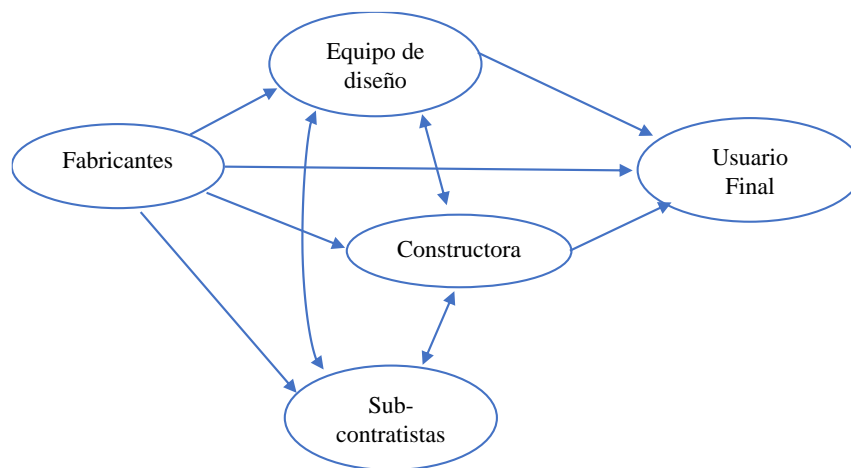


Figura 37 Recorrido de la información hasta el usuario final (Fuente: autor)

La gestión y mantenimiento de construcciones se puede ver muy beneficiada gracias a la ayuda de la implantación y uso de VDC. Siendo así, existen dos características fundamentales de las cuales estos equipos se benefician directamente, el modelo 3D y la información intrínseca en él. En primera instancia, ambos conjuntamente no dejan de ser un modelo BIM, pero lo que VDC aporta durante la fase de construcción es toda la información generada durante la construcción de la que se hablaba en el apartado 14.3 y en la que además se pueden incluir las simulaciones constructivas 4D que ofrecen información

adicional sobre la fase de construcción que pueden ser útiles a la hora de la planificación de futuras remodelaciones o ampliaciones de la construcción.

Con todo ello, el usuario debería partir parte del siguiente esquema provisto por parte del equipo VDC de la constructora:

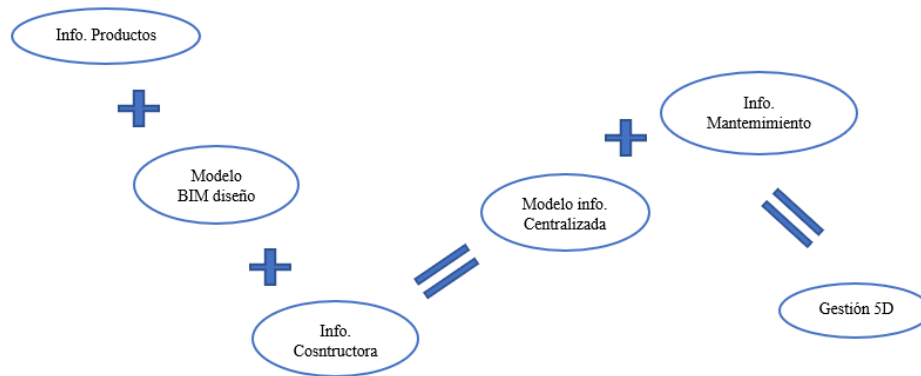


Figura 38 Estructura de la información (Fuente: autor)

Partiendo de aquí, el equipo de mantenimiento tiene las herramientas necesarias para proceder al seguimiento del edificio en tiempo real, también denominado 5D, que le permite, realizar directamente desde el modelo BIM tareas como mediciones, planificación, localización de elementos o simulaciones de diversa índole, entre otras muchas cosas. Finalmente, el equipo de mantenimiento no sólo debería usar este modelo como fuente de información, si no que debería trabajar sobre él modificando y añadiendo toda la información que se genera durante la vida útil del mismo. Por lo tanto, incluso durante esta última fase, la figura del VDC se yergue como una figura que aporta valor más allá de la finalización de la obra y el traspaso de información.

14.6. Lo existente como punto de partida

Hasta aquí, este trabajo se ha centrado en mostrar las capacidades VDC en proyectos constructivos que van desde su concepción, pasando por su construcción hasta su uso final. Obviamente, esta no es la única forma en la que la construcción se desarrolla, sino que también existen casos en los que se puede acometer una rehabilitación de un edificio o el mantenimiento de una instalación existente y que, con mucha probabilidad, no exista una fuente de información en formato BIM y, por ende, ninguna posibilidad de la implantación de una gestión de cualquier actividad VDC.

Una opción que se está desarrollando actualmente aglutina distintas herramientas para conseguir desde un elemento constructivo existente un modelo 3D como soporte que permita una gran funcionalidad para las actividades que se han visto hasta ahora. Conocida como Digital Twins, esta metodología comenzó su andadura en la NASA y se fue extendiendo a la industria aeroespacial primero, pasando por la petrolera y de manufactura después hasta hoy en día que comienza su andadura en la implantación de infraestructuras civiles.

El punto de partida es el de la realización de un escaneado de la infraestructura que permita la visualización 3D de la misma. Ya sólo con este primer paso, es posible la realización de análisis de estado, realizar simulaciones de cambios en la modelo real y tener una mejor comprensión para la toma de decisiones. A continuación, se introducen en el modelo la información paramétrica de los elementos de la infraestructura. Por ejemplo, en un escaneado de un edificio, se pueden incluir todos los elementos de protección contra incendios, como rociadores, puntos de hidrantes o extintores de mano para realizar una planificación de su mantenimiento.

Se pueden considerar dos tipos principales de Digital Twins, el dinámico y el estático. El primero responde a la conexión directa entre el modelo físico que puede ser controlado por el modelo digital. El segundo, se refiere a los modelos digitales que se actualizan en periodos largos de tiempo que tienen una función de planificación estratégica de las infraestructuras representada (27). Ampliando este espectro, entonces se establecen tres tipos distintos de modelos digitales diferenciando cuál es la forma y la dirección en la que la información fluye entre los modelos real y digital, que serían un simple modelo digital, una sombra digital, también conocida como Digital Shadow, y un verdadero Digital Twin (28).

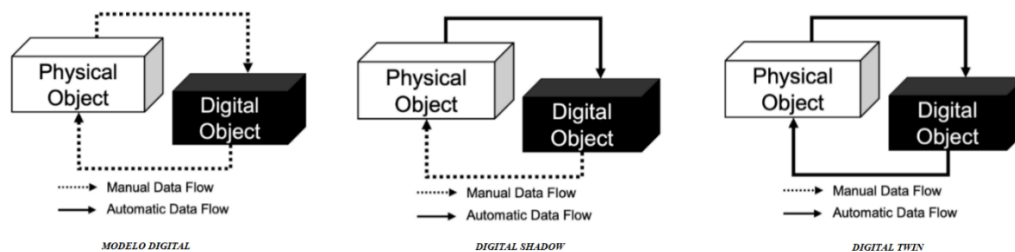


Figura 39 Tipos de modelos digitales (28)

Siguiendo con el ejemplo anterior, se puede crear una infraestructura que permita la monitorización de información en tiempo real, como sensores actividad, sensores térmicos, detección de humos, analizadores de funcionamiento de equipos eléctricos o mecánicos o visualización de cámaras de seguridad. Por último, existe la posibilidad de implementar a esta infraestructura de monitorización la funcionalidad que permita un control sobre elementos tales como el control de sistemas de calefacción y refrigeración, iluminación o apertura y bloqueo de puertas de acceso, entre otras. Por lo tanto, a través de un único modelo 3D, representando un elemento constructivo real, es posible realizar una gestión integral del mismo además de tener un soporte versátil y eficaz para la toma de decisiones.

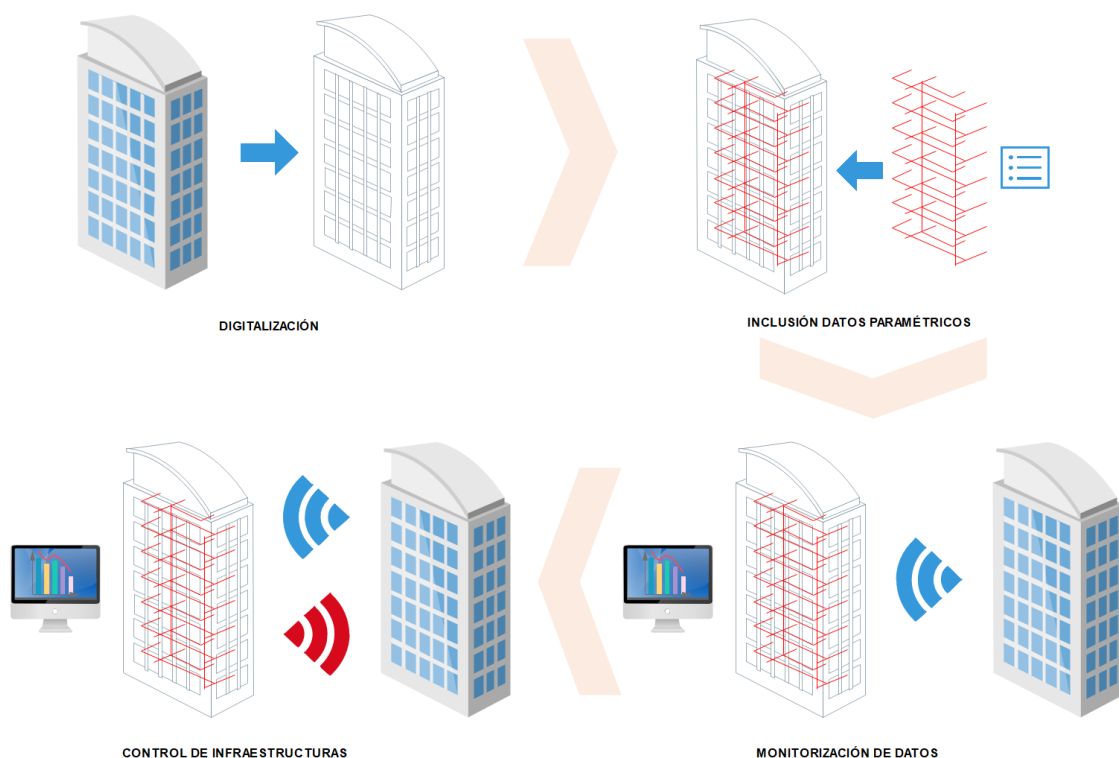


Figura 40 Fases de implantación Digital Twins en una infraestructura existente (Fuente: autor)

14.6.1. Digital Twin a gran escala

Independientemente de si la fuente de un modelo digital proviene de un modelo BIM desde su concepción o realizado a posteriori, cabe mencionar ciertas características interesantes sobre estos modelos como son la flexibilidad en lo que a la escala de complejidad que un modelo digital puede representar respecto al modelo real y la interconectividad entre distintos modelos digitales que representen, a su vez, distintos grados de complejidad del ecosistema que representan todos juntos (27).

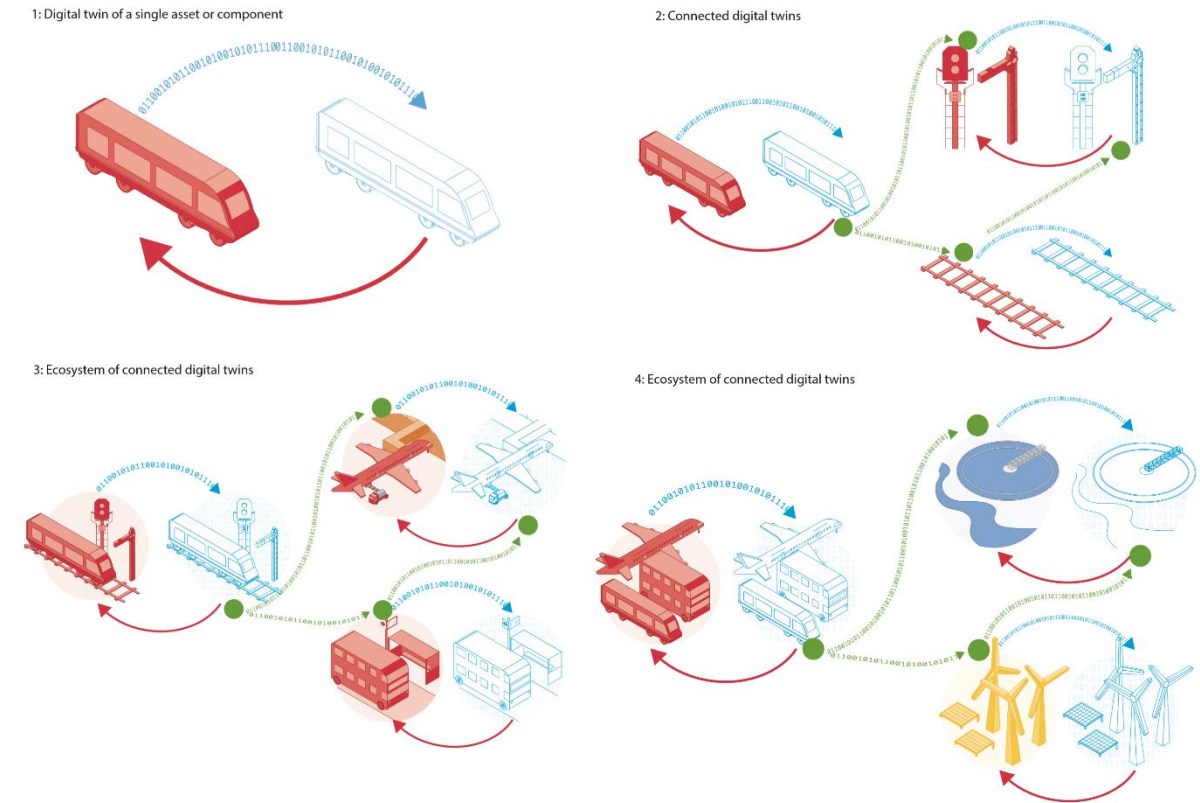


Figura 41 Grados de complejidad e interconectividad (27)

Se deben considerar factores técnicos, de madurez de mercado y humanos a la hora de entender el grado de implantación de esta metodología (29).

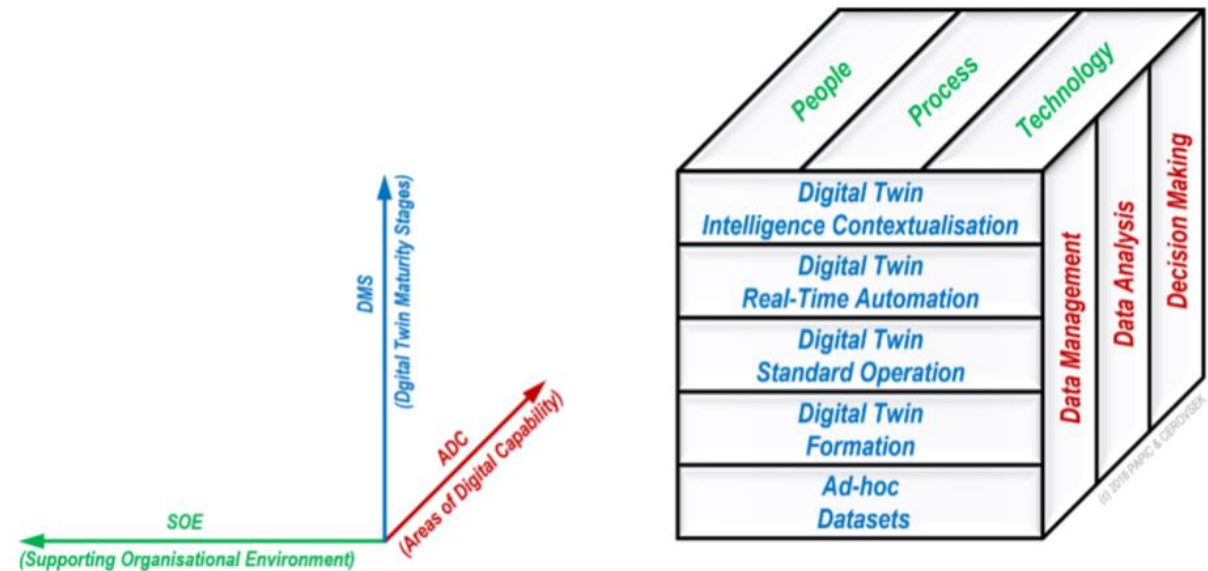


Figura 42 Grado de madurez para la tecnología Digital Twin (29)

15. VDC como profesional del sector constructivo

En este apartado se pretende realizar una descripción general de los distintos roles laborales que un profesional con conocimientos en VDC puede desempeñar tanto formando parte de una compañía como colaborando por su propia cuenta. Además de los distintos roles, se quiere hacer énfasis al desempeño de este profesional desde el punto de vista de fabricantes, subcontratistas, arquitectos, constructoras y agentes de gestión y mantenimiento de edificios o infraestructuras ya que actualmente existe en el sector de la construcción una confusión sobre su desempeño y, sobre todo, sobre su potencial.

15.1. *VDC como nexos*

Exponer la falta de consistencia y coordinación en múltiples aspectos del proceso constructivo ha sido la piedra angular sobre la que se ha desarrollado buena parte de este trabajo. Aunque para un problema se pueden buscar soluciones desde distintos ángulos y estas no tienen que ser excluyentes unas de otras, este trabajo se centra en cómo la figura del profesional VDC puede ayudar a la coordinación y la planificación cubriendo espacios y conectando puntos hasta ahora inconexos que permitan que la industria de la construcción avance hacia una mayor productividad. De este modo, es importante que los distintos agentes intervinientes en el proceso constructivo integren en sus estructuras a los distintos especialistas VDC que se verá más adelante y que sean estos los que canalicen la información generada y requerida por cada uno de los agentes hacia un único modelo de trabajo que sirva para todos ellos desde el principio hasta el final del proyecto. No quiere decir que toda la comunicación entre agentes tenga que pasar a través de ellos, si no aquella información que tenga que quedar plasmada en el proyecto para su uso.

Si bien se ha querido proyectar la figura de VDC como un profesional que va a aportar un gran avance dentro de la industria de la construcción, no se debe caer en la ingenua idea de que, por ese simple hecho, constructoras, fabricantes, subcontratistas y demás agentes de la construcción van a invertir y adoptar estas metodologías simplemente por tal holística razón. Por ello, es importante que, a nivel individual, cada agente pueda entender las bondades que esta metodología puede aportarle además de asimilar el esfuerzo necesario que debe acometer y el impacto a futuro que la metodología VDC supondrá para sí mismo y para el colectivo dentro de la industria. Una buena manera de poder entender el potencial

de un especialista VDC es justamente entenderlo como un nexo para la comunicación del agente que lo va a integrar con el resto y de esta manera que el aumento de la fluidez y la cohesión de la información a través de la metodología VDC aporta un aumento de la productividad que justifica su inversión.

15.2. Características del profesional VDC

El profesional VDC, a pesar de estar asociado en gran medida con el profesional BIM, en este momento es un profesional demandado en ciertos ámbitos muy particulares como compañías de ingeniería, constructoras de gran envergadura y algunos fabricantes para la realización de *Clash Detection*, simulaciones 4D de construcción u optimización de modelos BIM para su aplicación en construcción. Se puede decir que su nicho profesional comprende mayoritariamente labores de preconstrucción dentro de compañías constructoras.

Las habilidades y competencias que un profesional VDC debe cumplir para realizar su función, además de no estar muy asentadas en el mundo laboral, dependen en gran medida de su desempeño dentro del ciclo constructivo y de la organización interna de cada compañía. Por ejemplo, para una constructora, los profesionales VDC desempeñan una función muy estricta de gestión de datos del modelo VDC para ser estos gestionados por otros técnicos para labores de presupuestación, planificación o gestión. O, por otro lado, existen profesionales con perfiles más híbridos que, haciendo uso de las metodologías VDC, puedan realizar ambas labores.

Teniendo esto en cuenta, no cabe duda de que existen dos pilares básicos que cualquier profesional VDC debe cumplir para conformarse como tal. Uno es el conocimiento extensivo del proceso y métodos de construcción y arquitectura que le permitan una visión coherente de los elementos constructivos, agentes, y necesidades información acorde con el desarrollo de su labor. El segundo, que es el que le diferencia de otros profesionales de la construcción, es el dominio de los vehículos 3D que le permitan la transmisión de la información de manera que se pueda aplicar la metodología VDC al proceso constructivo correctamente. Si bien existen muchos profesionales que aplican ciertas metodologías VDC como el *Clash Detection*, ello no debe distraer de la idea de que VDC debe ser una

metodología a aplicar en todo el proceso constructivo y los profesionales VDC deben tener una visión suficientemente amplia que hagan posible la implantación de esta.

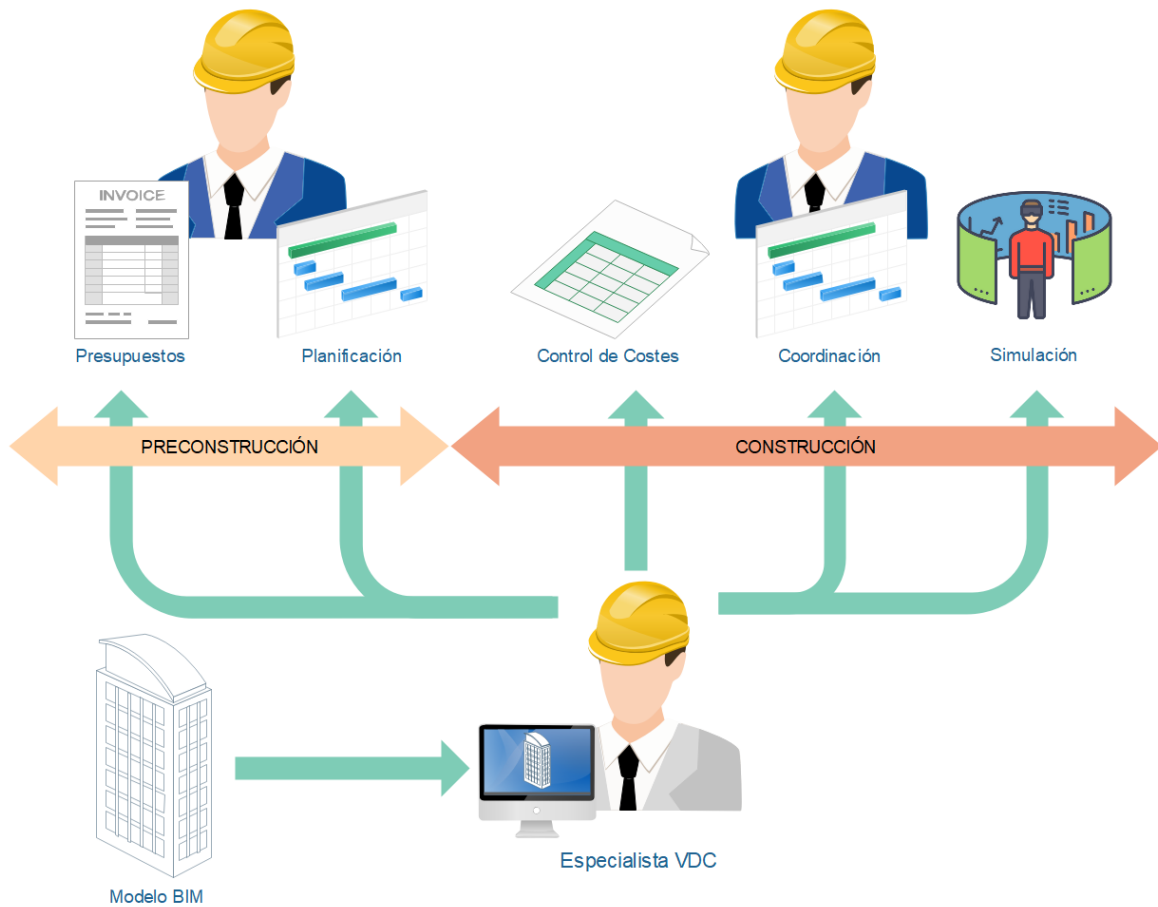


Figura 43 Flujo de información a través de un Especialista VDC (Fuente: autor)

Por otro lado, si bien es imprescindible contar con profesionales que permitan el trabajo con metodologías VDC de una manera más aplicada a la consecución de un proyecto constructivo, se debe tener en cuenta que todavía existe un camino muy importante por recorrer para que el uso de herramientas y métodos VDC se generalice y llegue al total, o al menos a la inmensa mayoría, de agentes intervinientes en construcción. Por ejemplo, la falta de modelos 3D con un nivel de detalle óptimo suele ser uno de los primeros escollos a la hora de comenzar un proyecto con esta metodología. En un mundo perfecto, las compañías que fabrican materiales y elementos de construcción deberían ser los encargados de dicha tarea pero, si bien las herramientas BIM han tenido un desarrollo muy notable en los últimos años, estas se han enfocado básicamente en la generación de proyectos y su gestión y han centrado menos su atención en las necesidades de otros agentes, como los fabricantes o subcontratistas, que encuentran un obstáculo difícil de salvar a la hora de producir,

gestionar y mantener con eficiencia sus propios elementos BIM. Lo mismo ocurre con agentes como los subcontratistas, que necesitan una alta inversión en especialización para poder cumplir los estándares que exige la implantación de esta metodología. Es por esto por lo que, además de los perfiles de profesionales VDC más al uso de su desempeño en el campo directo de la construcción, se abre la oportunidad a profesionales más avanzados a brindar servicios a este nicho de agentes para suplir su déficit de especialización y, además, la posibilidad de creación de herramientas específicas que permitan a agilizar y simplificar sus tareas para la consecución de la implantación de la metodología VDC.

15.3. VDC y la fabricación

Los fabricantes de materiales y elementos constructivos tienen una labor fundamental para que la implantación de VDC se agilice y se convierta en un modelo de gestión de la producción de la construcción. Desde una perspectiva micro del funcionamiento de muchos fabricantes, no es factible la disociación entre los profesionales BIM y VDC para la generación y gestión de sus modelos. Si bien, dependiendo del tipo de componentes constructivos a fabricar y de la integración de los procesos de fabricación con la metodología VDC se puede hacer necesaria una estructuración diferente de los responsables BIM y VDC, en ningún caso se deben desvincular las necesidades y procedimientos BIM y los de VDC, sino que toda la generación de modelos del fabricante se debe crear pensando en todo momento en ambas (BIM como modelo 3D para su integración en modelos constructivos y VDC como metodología de gestión). Por lo tanto, se debe evitar caer en la tentación de pensar que, en un principio, un creador de modelos BIM debe crear sus modelos para que simplemente sean usados para definir un modelo constructivo BIM y que la gestión VDC sea implementada a posteriori por parte de los gestores VDC.

En particular, en los casos en los que la fabricación de los elementos constructivos se realiza ad hoc para el proyecto constructivo, la figura del VDC dentro de la estructura de la empresa fabricante se hace especialmente relevante. Esto es así porque la figura del VDC se convierte en la piedra angular para que la propia empresa fabricante pueda integrar su propio proceso de fabricación al proceso BIM/VDC del proceso constructivo de sus clientes. En este caso, el especialista VDC tiene la función de gestionar la información de sus propios

modelos integrados en el modelo constructivo que recibe del arquitecto y de este modo ser el facilitador de la gestión de fabricación óptima que anteriormente se ha descrito. Desde este escenario, puede llegar a ser conveniente que los especialistas BIM/VDC encargado de la creación de modelos y el de la gestión de los modelos para la fabricación no sean la misma persona o equipo, sin embargo, se hace imprescindible que, en caso de que exista esta disociación de roles, ambos tengan una conexión y comunicación fluida y directa para que las necesidades de gestión VDC de fabricación sean consideradas en origen a la hora de la generación de los modelos BIM.

Además de lo anterior, y en cualquier caso, un profesional VDC en este sector debe tener un contacto directo y constante con sus clientes para realizar una labor de adecuación los modelos de los productos que ofertan a las necesidades de sus clientes en lo que a requerimientos VDC se refiere. En este sentido, y sobre todo teniendo en cuenta que por la juventud que la gestión VDC todavía tiene, no existen estándares muy extendidos, es muy probable que, en la mayoría de los proyectos, el fabricante necesite realizar cambios en la estructura de información de sus modelos para adecuarlos a la estructura de gestión VDC de arquitectos, contratistas, subcontratistas y/o usuarios para cada proyecto constructivo en concreto. En este sentido, la comunicación de gestores VDC entre los distintos agentes se hace indispensable.

15.4. VDC y los arquitectos e ingenieros

A pesar de que los diseñadores del modelo constructivo BIM suelen ser equipos especializados, la implementación de la metodología VDC a través de los modelos BIM debe tener un acercamiento más transversal que vertebral todo el modelo, incluyendo las características necesarias que permitan la gestión del proyecto, por medio del modelo BIM, usando esta metodología.

Un acercamiento práctico para dicha implementación viene a través de los requerimientos que constructor, subcontratistas y usuarios finales van expresando a los diseñadores en los sucesivos proyectos en los que van colaborando, con los menores particulares cambios que en cada proyecto puedan devenir. En este sentido, estas necesidades respecto a la gestión VDC que se van a dirigir a los equipos de diseño, sería conveniente que se pudieran recibir, sintetizar y redirigir a los equipos de diseño para su implementación en el modelo BIM por

parte de profesionales que, desde un enfoque más cercano a la gestión constructiva a través de VDC, pudieran encajar esas necesidades en el modelo BIM de la manera más adecuada. Para que la implementación de la metodología VDC pueda empezar en los modelos BIM, es necesario que existan profesionales dentro de los equipos de diseño que, desde una perspectiva de gestión constructiva, implementen las directrices necesarias en ese sentido. A diferencia de los equipos que se podrían denominar exclusivamente de diseño, los VDC de los diseñadores tienen una función que se prolonga más allá de la consecución del modelo constructivo BIM, ya que deben ser responsables de los cambios en el modelo en cuanto a gestión VDC se refiere y también deben reunir, en el mismo modelo BIM, la información generada en las etapas de preconstrucción y construcción y, con todo ello, adecuar el modelo BIM para el posterior uso y mantenimiento del edificio.

Así mismo, el rol del VDC dentro de los equipos de diseño es de gran importancia en lo que la implantación de la metodología VDC en toda la industria de la construcción se refiere. Esto es así porque, al ser el principal desarrollador del modelo BIM, este puede ser capaz de, a través del análisis y la síntesis de proyectos constructivos pasados, sentar los estándares VDC a los demás agentes constructivos para los proyectos futuros en caso de que no existan equipos que se dediquen esta función de forma exclusiva.

15.5. VDC y la constructora

La constructora, por su dimensión y su importancia dentro de la gestión VDC, puede contemplar múltiples especialistas dependiendo de múltiples factores como son la envergadura del proyecto o la integración de otros agentes dentro de la gestión integral VDC. En algunos casos en los que se pudiera requerir una especialización o una capacidad de gestión mayor, ciertos perfiles de gestión VDC pueden llegar a recaer en agentes externos a la compañía, como consultoría o profesionales independientes, los cuales pueden proveer de conocimientos y capacidad puntualmente. Se podría definir, dentro de una constructora, dos funciones principales bajo las cuales luego se recaen otras secundarias.

La primera es la de la gestión con distintos agentes para que el modelo se adecúe a sus necesidades y que la información que esta contiene sea la correcta, bien esta información provenga de fuentes externas o bien de los distintos grupos de trabajo dentro de la constructora, como pueden ser técnicos de presupuestos, agentes de compras, encargados

o jefes de obra. Para el desarrollo de estas funciones se hace indispensable una comunicación con distintos agentes desde las etapas más tempranas del proyecto constructivo. Las conexiones con los especialistas VDC de diseñadores y fabricantes facilitan la unificación de criterios y ahorran mucho tiempo en la generación de cambios por parte de los proveedores de los modelos posteriormente. Así mismo, el verificar la correcta inclusión de información que se genera durante el transcurso de la preconstrucción y construcción es esencial para hacer una entrega del modelo BIM óptimo para el usuario final con toda la información necesaria para su gestión.

La segunda, y quizá la más visible, es la de extracción y manipulación de la información para la gestión, que es lo que de forma más primigenia se denomina gestión VDC. El conocimiento de las necesidades de los demás profesionales y la comunicación continua entre estos, con el objetivo de poder extraer dicha información de la manera más adecuada posible, es de gran importancia. Generar mediciones a partir del modelo, realizar simulaciones 3D, extraer datos intrínsecos de modelos de elementos integrados o parte de todo el modelo BIM o analizar posibles interferencias de distintos elementos son algunos ejemplos de funciones más específicas.

Además de las funciones anteriores, que tienen una relación directa con la gestión del proyecto constructivo, existen otras funciones más transversales que tienen que ver más con el desarrollo de la gestión mediante metodología VDC. Existen casos en los cuales, el trabajo en la creación de estándares para la planificación de VDC, la creación de soluciones informáticas que resuelvan conexiones de información o agilicen el procesamiento de datos o la colaboración con subcontratistas y fabricantes para el desarrollo hacia la metodología VDC de sus métodos y productos son funciones menos directas y con impacto a más largo plazo. Sin embargo, la adopción de medidas que incluyan estas funciones a una escala mayor, son parte fundamental para el desarrollo de la metodología VDC y su implantación en la industria de la construcción.

15.6. VDC y los subcontratistas

La figura del profesional VDC en el ámbito de los subcontratistas tiene la dificultad añadida de la heterogeneidad de los agentes subcontratistas en sí. Obviamente, la figura de este profesional en una compañía subcontratista de instalación de maquinaria de instalaciones

de calefacción y refrigeración no es la misma que la necesaria en una compañía de instalación de carpintería, de albañilería o movimiento de tierras. Sobre el papel, se podría decir que el profesional VDC debería tener las habilidades y competencias para poder ser parte integral de la metodología VDC durante todas las fases del proceso constructivo. Es decir, debería ser capaz de gestionar el modelo BIM para extraer la información que le corresponde a su partida y poder incluir aquella que es requerida para el conjunto de gestión VDC como se ha visto anteriormente. Desde esta perspectiva es coherente pensar que este profesional sea el encargado de gestionar los múltiples proyectos en lo que el subcontratista está involucrado.

Como se comentaba sobre la heterogeneidad de los subcontratistas, en realidad existe un amplio espectro de posibilidades de integración de los subcontratistas, como el de una completa gestión mediante VDC, pasando por casos en los que su capacidad les permitirá una interacción VDC parcial o limitada y casos en los que habrá una nula capacidad. En estos dos últimos casos, en el apartado 14.3 se hecho referencia a la idoneidad de que el contratista general sea el encargado de transmitir la información que los subcontratistas no son capaces por sí solos dentro de los cauces de la metodología VDC para la gestión del proyecto.

Desde este marco, los profesionales VDC dentro del ámbito de los subcontratistas tienen una relación muy directa bien con los responsables presupuestos o bien con los jefes de obra o encargados dentro de las mismas. Si bien estos roles profesionales pueden estar vinculados a uno o varios empelados dentro de una compañía, dependiendo de su tamaño y estructura es bastante probable que lo conveniente sea que estos roles incluyan las responsabilidades de la gestión VDC bien convirtiéndose en técnicos de presupuestos/especialista VDC o jefe de obra/especialista VDC.

Ahondando en dichas funciones, el especialista VDC debe poder gestionar el modelo BIM para poder extraer la información necesaria que le permita fundamentalmente realizar mediciones y presupuestos, incluir la información necesaria para completa definición de los elementos que le competen, analizar las posibles inconsistencias a redirigir a los equipos de diseño u otros agentes implicados y la inclusión la estimación de los tiempos de ejecución de su partida. Además, durante la fase de ejecución, debe realizar una función de

supervisión de la progresión de la construcción y de los cambios que le puedan afectar, además de un registro de eventos importantes dentro del mismo modelo BIM de gestión. Por último, debe recopilar en el modelo toda aquella información que sea relevante y necesaria en la fase uso y mantenimiento.

15.7. VDC y la gestión del edificio o infraestructura

Es quizá en la gestión del uso y mantenimiento del edificio donde la integración de la metodología VDC se somete a un cambio de actores principales, lo cual, así mismo, fuerza a un cambio de perspectiva de abordar este tipo de gestión. Si bien se hacía mucho énfasis en la necesidad de un trabajo en conjunto y coordinado, al entrar en esta fase se realiza un traspaso de información mediante el modelo BIM para su gestión únicamente por un único agente.

Además, se debe considerar que los agentes intervinientes anteriores a esta fase se circunscribían al ámbito de la construcción, sin embargo, en esta fase, la gestión es probable que se realice con mayor probabilidad por agentes multidisciplinares más enfocados a un mantenimiento de infraestructuras desde una perspectiva más industrial, al ser el mantenimiento de las instalaciones eléctricas o de calefacción y refrigeración las que componen la mayor parte de los costes de este mantenimiento. Del mismo modo, dependiendo de las características del elemento constructivo, se pueden encontrar tipos de gestión más o menos exhaustivos, de modo que un edificio de oficinas o un centro comercial pueden requerir un uso y revisión del modelo BIM de gestión casi diario e ininterrumpido, mientras que un edificio de viviendas o una vivienda aislada requieran un uso del modelo BIM para la gestión de forma más intermitente e incluso por gestores que pueden ser distintos cada vez.

En el primer caso anterior, más exhaustivo, un profesional VDC puede tener el encargo de gestionar uno varios modelos simultáneamente por formar parte de una compañía propietaria o encargada de la explotación de distintos inmuebles. En este caso, como profesional deberá ser capaz de realizar los análisis pertinentes de la información contenida en el modelo BIM que le permita al equipo de mantenimiento y técnicos especialistas planificar y actuar de la forma más efectiva posible. Además, debe actuar como registrador

de las actuaciones y los cambios realizados de manera que el modelo BIM continúe actualizado respecto al edificio y sea una fuente confiable a futuro.

En el segundo caso, donde las actuaciones suelen tener un carácter más puntual, las responsabilidades son prácticamente las mismas que en el caso anterior, sin embargo, por ese espacio en el tiempo entre momentos de mantenimiento y por la probabilidad de la intervención de distintos agentes en cada uno, se hace aún más crítico que el profesional VDC responsable sea extremadamente diligente en la gestión de la información y la actualización del modelo BIM para asegurar que dicho modelo sigue siendo viable en futuras intervenciones por parte de profesionales distintos.

15.8. Especialista VDC, Director VDC y Coordinador VDC

A pesar de que pueden existir muchas formas de nombrar a un profesional que tenga como propósito el desarrollo de la metodología VDC en una empresa o de forma liberal, es importante, en lo que al desarrollo en sí de VDC en la industria de la construcción se refiere, hacer mención tres tipos que se suelen repetir en la muchos de los proyectos con este tipo de gestión.

Por un lado, el Especialista VDC encaja en una concepción micro de la gestión. Su función básica es la de trabajar con los modelos BIM más simples y asegurar su idoneidad en el flujo de información VDC, bien sea a través de la generación de información sobre modelos BIM para suministrar a diseñadores o bien sea para recopilar información de modelos para una gestión posterior de la información. Un ejemplo del primer caso podría ser un fabricante, el cual provee de modelos BIM a un arquitecto y, a través del Especialista VDC, el arquitecto, constructor, o incluso subcontratistas, pueden requerir que los modelos BIM dispongan de ciertas características que permitan la introducción y gestión de información dentro de los mismos. Además, en este primer caso, su figura puede estar unida a la de BIM, considerándose Especialista BIM/VDC, de modo que pueda realizar labores de creación de modelos BIM y gestión VDC simultáneamente. Un ejemplo de un segundo caso, podría ser una constructora o subcontratista que, a través del modelo BIM, gestiona mediante el Especialista VDC toda la información necesaria para la realización de mediciones, presupuestos, planificación, *Clash Detection*, etc.

El Director VDC, responde a la necesidad de gestionar los esfuerzos de Especialistas VDC dentro de una misma organización para la alineación de sus modelos BIM tanto con los modelos de diseño de arquitectos o ingenieros como con las propias estructuras para la fabricación. Su función no es la de trabajar directamente sobre los modelos, sino más bien la de tener una visión global del flujo de información que entra y sale.

Por último, el Coordinador VDC representa a la figura que gestiona la información dentro de los modelos BIM para un proyecto constructivo concreto. Generalmente, es una figura dentro de la estructura organizacional del constructor, aunque, además puede darse también dentro del equipo del arquitecto junto a la figura del Coordinador BIM. Su función es la de asegurarse que la información del modelo BIM es correcta en todo momento y, en su caso, extraer la información necesaria para otros agentes dentro o fuera de la constructora.

16. Conclusiones

La industria de la construcción se enfrenta a la necesidad de la mejora de su productividad y, para ello, necesita de nuevos enfoques y metodologías que hagan posible llegar a tal fin. La gestión de la información de los proyectos constructivos a través de metodologías VDC se yergue como una de las mejores prácticas que ya se están implementando con grandes niveles de éxito tanto en su funcionamiento como en el resultado final. Esto implica un cambio en el paradigma en la forma de gestionar la información, lo cual lleva intrínsecamente aparejado el uso de nuevas tecnologías que permitan la gestión de grandes volúmenes de esta.

Se debe considerar que, si bien a nivel individual se pueden conseguir grandes cotas de productividad con VDC, el verdadero salto cualitativo viene por un uso generalizado por todos los intervinientes dentro del sector de la construcción. Es probable que el esfuerzo inicial necesario deba surgir de aquellos que tienen más capacidad, mejores perspectivas de beneficio y/o un coste de oportunidad menor a la hora de hacer un cambio en su estructura hacia VDC, por lo que cabe esperar que sean las grandes constructoras las que comiencen a dar pasos en este sentido. A pesar de lo dicho, es imprescindible una implicación a nivel global, la cual genere marcos de referencia en el que poder basarse para proceder a dicha implementación y fomentar la educación y la formación de los profesionales que, sin lugar a duda, serán los verdaderos catalizadores para el cambio.

Además, se debe tener en cuenta el impacto en el factor humano que puede llegar a tener esta innovación. La mayor implicación tecnológica llevará a profesionales de diferentes niveles a una mayor especialización que, a su vez, repercutirá en una mejor preparación individual. La aparición de nuevos perfiles profesionales que se ajusten a las necesidades de los cambios de la industria será un signo del avance esperado. A sí mismo, se verán cambios en las propias construcciones, donde visualizaciones con realidad aumentada y estancias con alta tecnología para la gestión en grupo con realidad virtual se irán abriendo paso paulatinamente.

17. Bibliografía y referencias

1. **Estadística, Instituto Nacional de.** [En línea] www.ine.es.
2. **Analysis, U.S. Bureau of Economic.** [En línea] www.bea.gov.
3. **Teicholz, P. Remedies, Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and.** 4, s.l. : AECbytes, 2004.
4. **Guzmán Tejada, A. & Brioso Lescano, X.** *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos.* Lima (Perú) : s.n., 2014.
5. **Porras Díaz, H. & Sánchez Rivera, O. & Galvis Guerra, J.** *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual.* Bucaramanga (Colombia) : s.n., 2014.
6. **Khanzode, A., Fischer, M., Reed, M. and Ballard, G.** *A guide to applying the principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process.* Stanford, CA. : CIFE Working Paper #093, 2006.
7. **Fischer, Martin and Kunz, John.** *The scope and role of Information, Technical Report # 156.* Stanford, CA. : CIFE, Stanford University, , 2004.
8. **Autodesk Inc.** Autodesk.com. [En línea] <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>.
9. **Schoen, James.** Axis Steel Detailing, LLC. [En línea] 21 de Octubre de 2019. [Citado el: 4 de Febrero de 2020.] <https://axissteel.com/bim-vdc-whats-the-difference/>.
10. **Clark, Michael Thomas.** *A Framework for BIM Model-Based Construction Cost Estimation.* San Luis Obispo : s.n., 2019.
11. **Khan, Ricardo.** Synchro Software. [En línea] 18 de Junio de 2015. [Citado el: 4 de Febrero de 2020.] <http://blog.synchroltd.com/bim-and-vdc-defined-the-mortenson-perspective>.
12. **University, Sandford.** Virtual Design and Construction. [En línea] [Citado el: Febrero de 12 de 2020.] <https://online.stanford.edu/courses/cee341-virtual-design-and-construction>.

13. **Idaho, Brigham Young University** -. BS in Virtual Design and Construction. [En línea] [Citado el: 14 de Febrero de 2020.] [https://www.byui.edu/majors/virtual-design-and-construction-\(bs\)](https://www.byui.edu/majors/virtual-design-and-construction-(bs)).
14. **Technology, Norwegian University of Science and**. VDC-Certificate Programme Norway NTNU. [En línea] [Citado el: 14 de Febrero de 2020.] <https://www.ntnu.edu/studies/courses/BA6280#tab=omEmnet>.
15. **University, Columbia**. VDC AND THE DIGITAL DOMAIN IN CONSTRUCTION. [En línea] [Citado el: 14 de Febrero de 2020.] <https://www.arch.columbia.edu/courses/77347-78-vdc-and-the-digital-domain-in-construction>.
16. **Yabuki, Nobuyoshi**. *Toward Adoption of Virtual Construction in the Infrastructure Domain*. Kochi, Japón : Kochi University of Technology, 2010.
17. **M., Kunz J. & Fischer**. *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. Stanford (California) : STANFORD UNIVERSITY, 2012.
18. **K. H. Chua, D. & K. W. Yeoh, J.** *Understanding the Science of Virtual Design and Construction: What It Takes to Go beyond Building Information Modeling* . Singapur : s.n., 2015.
19. **Skanska**. Building with VDC. [En línea] [Citado el: 13 de Mayo de 2020.] <https://www.usa.skanska.com/what-we-deliver/services/innovation/vdc--bim/building-with-vdc/>.
20. **Company, Gilbane Building**. Gilbane Building Company. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2020.] <https://www.gilbaneco.com/>.
21. **Company, M. A. Mortenson**. VDC in our DNA. [En línea] [Citado el: 17 de Marzo de 2020.] <https://www.mortenson.com/approach/virtual-design-construction/vdc-journey>.
22. **Morris Dixon, John**. The journal of the American Institute of Architects. [En línea] 24 de Octubre de 2016. [Citado el: 17 de Marzo de 2020.] https://www.architectmagazine.com/project-gallery/walt-disney-concert-hall_o.
23. **Kawneer**. Kawneer 1630 SS IR Curtain Wall System. [En línea] [Citado el: 20 de Enero de 2020.]

https://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product.asp?prod_id=4381&desc=commercial-curtain-wall-impact-resistance-systems.

24. **BIMFORUM.** *The Level of Development (LOD) Specification.* 2019.

25. **Carpetano, Lucía Cantó.** *Propuesta de implantación BIM basada en la sinergia BIM-Lean Construction.* Alicante : Universidad de Alicante, 2017.

26. **Chachere, John y Kunz, John & Levitt, Raymond.** *Observation, Theory, and Simulation of.* Stanford, CA : s.n., 2004.

27. **Lamb, Kirsten.** *Principle-based digital twins: a scoping review.* s.l. : Center for Digital Built Britain, 2019.

28. **FULLER, AIDAN, FAN, ZHONG y DAY, CHARLES & BARLOW, CHRIS.** *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research.* s.l. : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019.

29. *DIGITAL BUILT ENVIRONMENT MATURITY MODEL: DIGITAL TWINS ADVANCING SMART INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT.* **Papic, Dejan & Cerovsek, Tomo.** Chania, Grecia : s.n., 2019.

30. **ENGINEERING., STANFORD SCHOOL OF.** *Virtual Design and Construction CEE341.* [En línea] 2020. <https://online.stanford.edu/courses/cee341-virtual-design-and-construction>.